Klaus Erlach

Wertstrom-design

Der Weg zur schlanken Fabrik

Springer

VDI

Klaus Erlach

Wertstromdesign

Klaus Erlach

Wertstromdesign

Der Weg zur schlanken Fabrik

Mit 130 Abbildungen

Springer

Klaus Erlach

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Stuttgart

klaus.erlach@gmx.de
www.wertstromdesign.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

ISBN 978-3-540-37178-6 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Digitale Vorlage des Autors
Herstellung: LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig
Einbandgestaltung: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3100/YL – 5 4 3 2 1 0

Where is the knowledge we have lost in information?

T. S. ELIOT *The Rock*

Vorwort

Ein Gespenst geht um in Deutschland – das Gespenst der Globalisierung. Zahlreiche Emerging Markets scheinen sich verschworen zu haben, der sozialen Marktwirtschaft deutscher Prägung mit Lohnkostendumping, laschen Umweltgesetzen und investitionsfreundlichen Steuersystemen den Garaus zu machen. Für die Beschäftigungsentwicklung in Deutschland zeichnet sich dementsprechend ein äußerst düsteres Bild, wenn zahlreiche Arbeitsplätze in der verarbeitenden Industrie von Verlagerungen ins kostengünstige Ausland bedroht sind. Ist dieses Bild richtig? Und kann man ihm etwas entgegensetzen?

In der aktuellen Globalisierungsdebatte verengt sich der Blick des globalen Kommunizierens, Handelns und Reisens auf eine rein ökonomische Perspektive, den Waren- und Kapitalmarkt. Die *Globalisierung* wird als Sachzwang dargestellt, den die einen als globalen ‚Freien Markt' der Chancen gutheißen und die anderen mit gleicher Verve als rücksichtslose Strategie der Gewinnmaximierung verdammen. Für beide Positionen scheint zu gelten, dass das ökonomische Sein mit seinen globalen Sachzwängen das ökologische, steuerliche und sozialstaatliche Bewusstsein bestimmt. Ob Affirmation oder Ablehnung – für ein produzierendes Unternehmen scheint nur noch die Verlagerung der Produktion die Wettbewerbsfähigkeit und damit das eigene Überleben sichern zu können. Wie aber könnten die Handlungsmöglichkeiten durch weitere Optionen erweitert werden?

Am stärksten von einer solchen möglichen Verlagerung betroffen ist die Produktion weitgehend standardisierter, arbeitsintensiver und leicht zu transportierender Produkte. Viele Firmen planen eine Verlagerung ihrer Produktion ausschließlich auf Grund der Lohnkostenersparnis, die sie aus dem gegenwärtigen Lohnstundenbedarf und der Differenz der Löhne abschätzen können. Die Frage nach dem ‚ob' weicht dabei der Frage nach dem ‚wohin'. Dieser Ansatz wirkt sehr verführerisch. Allerdings gibt es immer irgendwo eine Firma, die ein Produkt noch billiger herstellen kann als man selbst. Dieser Effekt trifft auf Produktionen in Ländern mit hohen Löhnen tendenziell stärker zu. Es gibt für jede Firma immer die Möglichkeit, irgendwo einen bezüglich der Lohnkosten noch billigeren Standort für die Produktion des eigenen Produktes zu finden – und dann eben dort-

hin umzuziehen. Bis dann dort die Löhne steigen und anderswo ein neuer Produktionsmarkt entdeckt wird. Das *Fabrik-Nomadentum* kommt insofern nie an ein Ende.

Nun ist aber eine Standortentscheidung zum einen von nicht geringer strategischer Bedeutung, da sie eine nur aufwendig zu korrigierende Bindung und Ausrichtung des Unternehmens bewirkt. Zum anderen ist die Kostenminimierung nicht die einzige Zielgröße in der Produktion. Neben dem Preis sind eine kundenorientierte Flexibilität, eine stabile Qualität sowie eine ausreichend kurze und verlässliche Lieferzeit ebenfalls relevant für den Markterfolg. Eine Standortentscheidung sollte daher ähnlich wie die Frage nach dem richtigen gesellschaftlichen Umgang mit Globalisierungseffekten nicht allein mit Blick auf die Lohnkosten getroffen werden, sondern auch die anderen Marktziele im Auge behalten.

Verlagerungsentscheidungen werden häufig getroffen, ohne dass mögliche Optimierungspotentiale am deutschen Standort berücksichtigt werden. Dies geschieht insbesondere dann, wenn man eine gewachsene Fabrikstruktur mit einem Neubauprojekt auf einer ausländischen ‚grünen Wiese' vergleicht. Durch diesen Vergleich unter ungleichen Voraussetzungen wird die zu verlagernden Produktion schlechter beurteilt, als es angemessen wäre. Aber nicht nur das. Vernachlässigt man die Optimierungsmöglichkeiten, dann hat das die unangenehme Folge, dass die ineffizienten Produktions- und Geschäftsprozesse des abgebenden Standorts auf den neuen Standort übertragen werden. Zusammen mit den Anlaufkosten und anderen Verlagerungsrisiken kann sich dadurch die Situation des Unternehmens noch verschlimmern anstatt sich zu verbessern. Bevor man das Wagnis einer Verlagerung mit ihren Kosten- und Zeitrisiken eingeht, sollte man also immer auch die Potentiale einer *Standortoptimierung* untersuchen.

Das vorliegende Buch stellt dazu eine sehr effektive und überaus hilfreiche Methode vor: das Wertstromdesign. Ursprünglich von Toyota für die Automobilbranche entwickelt, wird diese Methode inzwischen mit großem Erfolg auch in anderen Branchen eingesetzt. Am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart konnte die *Wertstrommethode* erfolgreich in Fabrikplanungsprojekte integriert werden. So konnte die ursprüngliche Methode mit ihrem teilbereichsbezogenen Workshopcharakter hin zu einem mächtigen Planungswerkzeug entwickelt worden. Das hat mittlerweile dazu geführt, dass sich die Planer gar nicht mehr vorstellen können, wie noch vor wenigen Jahren Industrieprojekte ohne diese Methode überhaupt haben durchgeführt werden können.

Die Potentiale des Standorts Deutschland haben all jene Investoren erkannt, die solche Firmen aufkaufen, die in den Jahren zuvor die Optimierung ihrer Produktion versäumt haben und die sie nach der Reorganisation

mit hübschem Gewinn wieder verkaufen. Es ist Zeit, den Produktionsverantwortlichen eine geeignete Methode zur Überprüfung der Fabrikziele und zur Optimierung der Produktionsabläufe an die Hand zu geben. Dem Globalisierungsgerede wäre damit wenigstens auf der Fabrikebene ein adäquater Handlungsansatz entgegengestellt.

Ein Buchprojekt ist für einen Autor immer Vergnügen und Last zugleich. Besonderer Dank gilt daher all jenen, die durch Unterstützung und Ratschlag geholfen haben, die Last zu mindern und das Ergebnis der Bemühungen zu verbessern. Für die fachlichen Anregungen danke ich insbesondere Hans-Hermann Wiendahl, Michael Lickefett und Alexander Stamm. Die umsichtigen Korrekturleserinnen Susanne Ramsthaler und Karin Erlach haben vor allem für eine klare Strukturierung des Textes Sorge getragen. Ferner danke ich Minou Friele, Siegfried Reusch und Karin Mutter. Nicht zuletzt gebührt Dank denjenigen, die die Grundlagen für meine Arbeit geliefert haben. Mike Rother dafür, mich in die Methode eingeführt zu haben, dem Fraunhofer IPA für das anregende Arbeitsumfeld sowie all den produzierenden Firmen, die ich in fabrikorganisatorischer Hinsicht beraten durfte.

Stuttgart, im Februar 2007 *Klaus Erlach*

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... **VII**

1 Produktionsoptimierung **1**
1.1 Die Organisation von Produktion 4
1.1.1 Die Fabrik 4
1.1.2 Der Wertstrom 7
1.2 Die vier Ziele der Produktion 13
1.2.1 Die Dilemmata der Produktionsablaufplanung 17
1.2.2 Das logische Zielquadrat 23

2 Wertstromanalyse **31**
2.1 Produktfamilien 38
2.1.1 Die Produktfamilien-Matrix 39
2.1.2 Produktionsablauf und Familienähnlichkeit 41
2.2 Kundenbedarf 45
2.2.1 Kundentakt 47
2.2.2 Kundenbedarfsschwankungen 50
2.3 Produktion 53
2.3.1 Produktionsprozesse 56
2.3.2 Materialfluss 71
2.3.3 Auftragsabwicklung 79
2.4 Potentiale 92
2.4.1 Durchlaufzeit 94
2.4.2 Taktabstimmung 98

3 Wertstromdesign **105**
3.1 Produktionsstrukturierung 114
3.1.1 Geschäftstypen 118
3.1.2 Ressourcenzuordnung 126
3.2 Gestaltung der Produktionsprozesse 129
3.2.1 Kapazitative Dimensionierung der Ressourcen 130
3.2.2 Einführung kontinuierlicher Fließfertigung 133

3.3 Produktionssteuerung 149
3.3.1 Direkte Verkopplung von Produktionsprozessen 156
3.3.2 Verbrauchsorientierte Kanban-Regelung 168
3.3.3 Produktionssteuerung am Schrittmacher-Prozess 197
3.4 Produktionsplanung 205
3.4.1 Produktionsnivellierung 206
3.4.2 Ausgleich des Produktionsmix 211
3.4.3 Engpass-Steuerung und Restriktionen 220
3.4.4 Merkmale einer schlanken Planung und Steuerung 227
3.5 Konzeption und Umsetzung 229

4 Die schlanke Fabrik 235
4.1 Wertstromorientierte Layoutplanung 238
4.2 Produktionssysteme 242

5 Projektbeispiele 247
5.1 Die Komfort GmbH – Transparenz durch Fließfertigung 248
5.2 Die Federn KG – Losbildung in der Variantenfertigung 259
5.3 Die Glas AG – Kurze Lieferzeiten in der Einzelfertigung 272

6 Literaturhinweise 285

1 Produktionsoptimierung

Die Gestaltung optimaler Produktionsabläufe ist die zentrale Aufgabe des Planers einer Fabrik. Die Schwierigkeiten, die sich diesem Produktionsoptimierer in den Weg stellen, sind zum einen die jeweils zu beachtenden Restriktionen in der Fabrik sowie zum anderen die konfligierenden Teilziele der Produktion. Und kaum ist ein scheinbar idealer Zustand erreicht, ändern sich die Kundenwünsche, die Produktionstechnologien, gesetzliche Bestimmungen oder andere wichtige Einflussfaktoren. Die Aufgabe der Produktionsoptimierung ist somit ständiger Begleiter des Fabrikbetriebs sowie Anforderung an eine jede Fabrikplanung.

Methode

Um die Effektivität einer Produktion steigern zu können, ist eine ausgereifte Methode hilfreich. Denn nichts ist praktischer als eine gute Theorie. Wirkliche Verbesserungen können insbesondere dann erreicht werden, wenn es gelingt, alle bisherigen Gewohnheiten des Produktionsablaufs systematisch in Frage zu stellen und zielorientiert weiterzuentwickeln. Ziel dieses Buches ist es, die überragende Leistungsfähigkeit der *Wertstrommethode* in dieser Hinsicht aufzuweisen. Sie erlaubt erstens die Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette, die sie ausgezeichnet visualisiert. Und sie unterstützt zweitens die optimale Gestaltung einer Produktion durch den zielführenden Einsatz von Gestaltungsrichtlinien.

In diesem Buch wird die in ihren Grundzügen bekannte Wertstrommethode (Rother 2000) in einer systematisierten Weise präzise dargelegt und deutlich erweitert. Daher sind Darstellungsweise und Symbolik der Methode mit Ergänzungen versehen, insbesondere um eine deutlich detailliertere Darstellung der Informationsverarbeitungsprozesse zu ermöglichen. Die bisher bekannten Leitlinien werden um einige Lösungsprinzipien der Produktionsorganisation erweitert sowie gemeinsam in ihrem schlüssigen Zusammenhang weiterentwickelt und erläutert. Ergebnis sind die *neun aufeinander aufbauenden Gestaltungsrichtlinien* des Wertstromdesigns. Ferner wird die ursprüngliche, einfache Produktfamilienbildung an Hand von produktionsrelevanten Kriterien und Geschäftstypen hin zu einer produktfamilienorientierten Segmentierung fortgeführt. Dieser umfassende

Strukturierungsansatz legt die Grundlage für eine *wertstromorientierte Fabrikplanung*. Bei dieser wird der projektbezogene Ansatz der methodischen Fabrikplanung mit dem kontinuitätsbezogenen Ansatz des Wertstromdesigns verschmolzen.

In das vorliegende Buch fließen Erfahrungen aus zahlreichen *Industrieprojekten* ein, die fallweise zur praxisnahen Erläuterung als verallgemeinertes Beispiel herangezogen werden. Die Wertstrommethode wird zunächst am relativ einfach zu überblickenden Beispiel einer Serienproduktion eingeführt. Die weiteren Fallbeispiele illustrieren dann die deutlich komplexeren Gegebenheiten bei der variantenreichen Kleinserienfertigung sowie der kundenspezifischen Produktion. Der Anwendungsbereich der Wertstrommethode kann so erfolgreich auf die Produktion von Stückgütern mit komplexer, mehrstufiger Produktstruktur und hoher Produktvarianz übertragen werden.

Da die Wertstrommethode ursprünglich von der Firma Toyota im Zuge ihres Produktionssystems entwickelt worden ist, schien ihr *Anwendungsbereich* zunächst auf die Automobilbranche beschränkt. Zahlreiche Projekte der Wertstromoptimierung sowie der Fabrikplanung zeigen jedoch das Gegenteil. Durch einige methodische Ergänzungen und Variationen in der Anwendung der Gestaltungsrichtlinien ist ein Transfer in andere Branchen gut möglich. Positive Erfahrungen liegen beispielsweise für den Maschinenbau, die Elektro- und Elektronikindustrie, Medizintechnik und Optik, Sanitär- und Leitungstechnik sowie die Konsumgüterindustrie vor. Die Wertstrommethode erweist sich somit als geeignet für die Analyse und Neugestaltung von Stückgutproduktionen aller Art. Auch hat sich gezeigt, dass die Methode nicht nur für multinationale Großunternehmen und deren Liefernten, sondern auch für mittelständische Unternehmen hervorragend geeignet ist.

Das vorliegende Buch wendet sich an Geschäftsführung und an alle Produktionsverantwortlichen sowie jene, die diese Aufgabe anstreben. Der Geschäftsführung liefert die Methode ein klares Bild der Produktion und erlaubt es ihr so, deren Erfordernisse korrekt einzuschätzen. Basierend auf einer einfachen und einheitlichen Symbolik können Verbesserungspotentiale und Lösungsansätze dargestellt sowie unternehmensweit verständlich kommuniziert werden. Die genaue Beschreibung der Methode sowie die ausführlichen Praxisbeispiele zeigen Nutzen und breite Anwendungsmöglichkeit der Wertstrommethode auf. Die Methode ist direkt anwendbar und erlaubt es, zielgerichtet Verbesserungen der Leistungsfähigkeit einer Produktion zu konzipieren und schließlich umzusetzen.

Ein Methodenbuch kann trotz der angeführten Beispiele die eigene Erfahrung in Projekten nicht ersetzen. Es erleichtert es jedoch, entsprechende Erfahrungen zielorientiert aufzubauen. Unterstützend hilfreich ist der neu-

trale Blick des externen Beraters, der mit den gewohnten Restriktionen so unvertraut ist, dass er sie zum Zwecke einer freieren Lösungssuche ignorieren kann. Damit die beginnende Verbesserung in ihrem Antrieb nicht das Öl der Motivation verliert und sich im Gewohnten festfrisst, empfiehlt es sich, Verantwortlichkeiten für die Umsetzung festzulegen und Ausflüchte ins Tagesgeschäft zu unterbinden. Externe Begleitung mag hier für die nötige Kontinuität sorgen und gewährleisten, dass auch konzeptionell der Pfad der Tugend beschritten wird.

Inhaltsübersicht

Wenn nun in diesem Buch das Produzieren ausführlich in den Blick genommen wird, dann findet sich der Aspekt geringer Herstellkosten nicht an hervorgehobener, zentraler Stelle der Untersuchung. Im Fokus steht vielmehr der Zweck des Produzierens: das jeweils zu erzeugende Produkt. Und auch dies stimmt noch nicht genau, erreicht doch das Produkt nur als ein verkauftes Produkt seinen Zweck. Daher ist auch die Grundidee, bei der Beurteilung einer Produktion *Kundensicht* einzunehmen, von so zentraler Bedeutung für die hier vorgestellte Methode (Kap. 2).

Aus der Sicht des Controllings eines Unternehmens sieht das meist anders aus: hier sind Entwicklung, Erzeugung und Vertrieb von Produkten nur das Mittel zum Zweck des finanziellen Gewinns – und folgerichtig rücken nun die Kosten, darunter die Herstellkosten, an prominente Stelle der Beurteilung einer Produktion. Jedoch ist ohne erfolgreiche Geschäftsidee, ohne verkäufliche Produkte schlecht Gewinn zu machen. Eine Hilfestellung zur richtigen, verbesserten Gestaltung des mit der Produktion verbunden technischen Handelns kann die reine Kostenbetrachtung aus den genannten Gründen nicht liefern.

Erst wenn die Zweckmäßigkeit des Produzierens sichergestellt ist, ist es auch sinnvoll, sich mit einer Steigerung der Effizienz all jener Prozesse auseinanderzusetzen, die dem Produktionszweck dienen sollen. Eine richtig verstandene *Produktionsoptimierung* berücksichtigt beides und beginnt mit der Hinterfragung aller zum Produzieren gehörenden Prozesse hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit bezogen auf Kundenwunsch und Produkt. In diesem umfassenden Sinne ist die Grundidee, bei der Gestaltung einer Produktion an erster Stelle auf die Vermeidung jeglicher Verschwendung zu achten, zu verstehen (Kap. 3). Für eine verschwendungsarme, mithin *schlanke Produktion* reicht es also nicht aus, lediglich kostengünstig zu arbeiten, sondern zusätzlich ist auch das richtige, das heißt kundenwunschgemäße Produkt zu produzieren. Letztendlich ist nur so eine nachhaltige Gewinnsicherung zu gewährleisten. Die ‚schlanke Produktion' als Übersetzung der ‚Lean Production' sollte man, wie es zuweilen geschehen ist,

nicht als dünn missverstehen, das heißt die Muskeln sollten bleiben, nur der Speck muss weg.

Der Zweck des Produzierens ist die Erfüllung eines Kundenwunsches. Ein Kundenwunsch wird erfüllt mit einem Produkt, das bestimmte Merkmale aufweist und bestimmte Funktionalitäten besitzt. Diese Aspekte werden in der Produktentwicklung grundsätzlich festgelegt und bei kundenspezifischen Produkten im Rahmen der Auftragsabwicklung variiert. Der Kundenwunsch geht aber über diese angepassten Grundeigenschaften eines Produktes hinaus. Es soll zusätzlich eine gewisse Qualität aufweisen, in bestimmten Mengen und bestimmter Fristigkeit verfügbar sein sowie einen akzeptablen Preis haben. Daher ist das Produzieren an unterschiedlichen Zielen auszurichten, deren wechselseitige Abhängigkeit hier vorbereitend erläutert werden soll (Abschn. 1.2). Diese ausführliche Reflexion der *Produktionsziele* ist notwendig, um die erforderliche Zweckmäßigkeit des Produzierens schließlich erreichen zu können.

Eine zweckmäßig ausgerichtete Produktion muss organisiert werden. Als schlanke Produktion wird ihr Ablauf in Form eines kundenorientierten und dabei effizienten Wertstroms realisiert. Unter dieser Wertstromperspektive wird die Produktion mit einem besonderen Fokus auf die Wertschöpfung betrachtet. Die Struktur der Produktion wird durch ihren Aufbau in einer Fabrik räumlich und sozial organisiert. Jeder Wertstrom hat seinen Ort in einer Fabrik. Die *Organisation von Produktion* als Wertstrom in einer Fabrik soll im Folgenden einleitend skizziert werden (Abschn. 1.1).

1.1 Die Organisation von Produktion

Die Organisation industriellen Produzierens erfolgt in der Fabrik. Die Fabrik bietet nicht nur als Gebäude den räumlichen Rahmen, sondern kann als das soziotechnische System der Produktion beschrieben werden (Abschn. 1.1.1). Um den Produktionsablauf innerhalb der Fabrik in seinem Zusammenhang ganzheitlich zu betrachten, nimmt man am besten die Wertstromperspektive ein, die die Produktion als Fluss der Wertschöpfung zeigt (Abschn. 1.1.2).

1.1.1 Die Fabrik

Quelle des Wohlstandes einer Gesellschaft sind zumeist die materiellen Grundlagen, die sie sich selber schafft. Daher spricht man heute sehr treffend von Industriegesellschaft – trotz Informations- oder Dienstleistungs-

gesellschaft, die doch selten eigenständig bestehen können. ‚Industrie' bedeutet etymologisch ‚Fleiß' und ‚Betriebsamkeit'. Der zentrale Ort dieser Betriebsamkeit ist die *Fabrik*, in der alles Notwendige und nicht ganz so Notwendige produziert wird. Dabei geht es nicht bloß um die Sicherung des schieren Überlebens, sondern auch um die Bereitstellung ‚objektiv überflüssiger' Güter, die das Leben erst abwechslungsreich und interessant machen. Mit ‚Fabrik' bezeichnet man gemeinhin eine gewerbliche Betriebs- oder Produktionsstätte zur – im Unterschied zur Manufaktur – maschinellen sowie arbeitsteiligen Herstellung von Produkten. Konkrete Fabriken sind Ergebnis historisch gewachsener Veränderungen und Anpassungen im Fabrikbetrieb sowie geplanter Eingriffe der Fabrikplanung.

Ein detaillierteres Bild der Fabrik lässt sich in fünf Dimensionen Standort, Werkstruktur, Fabrikgebäude mit Fabrikstruktur und Fabriklayout, Produktionslogistik sowie Arbeitsorganisation entfalten. Diese Aspekte der Fabrik sollen im Folgenden etwas ausführlicher erläutert werden.

Standort Zunächst ist eine Fabrik durch ihren *Standort* näher bestimmt. Hauptmerkmale des Standortes auf lokaler Ebene betrachtet sind Kriterien wie Preis, Größe und Geländeform sowie die Anbindung an die Infrastruktur wie Wasserversorgung, Energie, Straßen, Eisenbahn, Kanäle, und ähnliches. Auf regionaler Ebene kommen Merkmale wie Arbeitskräfte, Arbeitsmarkt, Lohnniveau, Steuern und Subventionen sowie Klima und kulturelles Umfeld hinzu. Alle diese Standortfaktoren haben einen großen Einfluss auf den Fabrikbetrieb. Umgekehrt müssen die Gestaltung der Fabrik und der Produktionsprozesse zum Standort und seinen charakteristischen Merkmalen passen. Auf diese Weise ist die Fabrik in ihre Umgebung eingebettet.

Werk Am Standort befindet sich sodann das *Werk*. Im Rahmen einer Werkstrukturplanung werden die ersten Grenzen gezogen. Das vorgefundene Gelände wird geformt, geebnet und als Grundstück eingezäunt. Es werden Bauplätze für unterschiedliche Gebäude zur Produktion, zur Lagerung, zur Verwaltung oder für soziale Belange (wie Kantine, Firmenkindergarten) definiert. Diese Gebäude werden mit Wegen und Straßen logistisch verknüpft, und, falls noch Platz ist, werden Parkplätze und Außenanlagen eingeplant. Das Ergebnis, die ideal geplante Werkstruktur, beschreibt die Anordnung und Verknüpfung der Gebäude auf dem Grundstück sowie deren Anbindung an die externe Infrastruktur. Im Grunde handelt es sich also um eine mehr oder weniger kleine Stadt mit einer stark ausdifferenzierten Funktion. Daher ist die Werkstrukturplanung auch ein Arbeitsfeld für Städteplaner.

Fabrik Mindestens eines dieser *Gebäude* auf dem Werksgelände ist dann nun endlich die für die Produktion vorgesehene Fabrik im eigentlichen Sinne. Jede Fabrik setzt sich aus drei grundlegenden Bestandteilen zusammen, die äußere Gebäudehülle, die Struktur der internen Bereiche sowie die Anordnung der Produktionsmittel im Fabriklayout. Ein Fabrikgebäude besteht prinzipiell aus drei Komponenten, der Gebäudehülle mit Tragwerk, der Haustechnik mit der Medienversorgung sowie den Ausbauelementen, namentlich die Wände und Durchlässe (Fenster, Türen). Nun ist die Fabrik da, aus Produktionssicht aber noch immer leer. Mit der Segmentierung werden innerhalb des Fabrikgebäudes unterschiedliche Bereiche der Produktion gebildet. Ziel der Segmentierung ist es, eine transparente und effiziente *Fabrikstruktur* zu erreichen. Wenn somit gewissermaßen die Zimmer definiert sind, kann mit der Möblierung begonnen werden. Technologien werden ausgewählt; passende Betriebsmittel wie Maschinen und Anlagen sowie Förder- und Lagertechnik werden konzipiert, entwickelt, konstruiert, gebaut, in ihrer Anordnung geplant und schließlich installiert. Kriterien der Anordnung sind unter anderem die Materialflussbeziehungen, die den Materialtransport und die Lagerorte zwischen den einzelnen Betriebsmitteln beschreiben. Ergebnis ist schließlich das *Fabriklayout*, das den Flächenbedarf und die Anordnung aller Produktionsmittel im engeren Sinne beschreibt.

Logistik Damit ist das Bauen der Fabrik im Wesentlichen abgeschlossen. Nun beginnt viertens die eigentliche Arbeit, die Betriebsamkeit. Material und Maschinen müssen in Bewegung gesetzt werden. Dazu werden Informationen darüber gebraucht, was wann wo zu tun ist. Der Informationsfluss organisiert das zur Abwicklung der Aufträge notwendige Erfassen, Sammeln, Verarbeiten, Speichern und Verteilen von Daten und Anweisungen zur Planung und Steuerung der Produktion. Die entsprechend gestaltete *Produktionslogistik* steuert und betreibt die Fabrik mit Hilfe von Produktionsplänen. So erst kann aus dem Produzieren ein geplantes technisches Handeln werden. Dieses planvolle Handeln wird geleitet von den drei Zielen der Logistik, nämlich dem Erreichen einer hohen Maschinenauslastung bei geringen Beständen und einer hohen Liefertreue. Da diese Ziele selten alle gleich gut erfüllt werden können, befindet sich der Produktionsplaner im Ablaufplanungsdilemma (Abschn. 1.2.1). In der Konsequenz hat man es im Fabrikbetrieb häufig genug mit fehlgeplantem technischem Handeln zu tun, was sich freilich erst im Nachhinein zeigt.

Arbeitsorganisation Nun fehlen in der Fabrik als ihre fünfte Dimension nur noch die Mitarbeiter mit ihren Fertigkeiten und Qualifikationen, deren produktionsbezogenen Pflichten und Rechte in der *Arbeitsorganisation* festgelegt werden. Diese Zuordnung von Aufgaben zu Personen organisiert

die Arbeitsverteilung. Zur sozialen Dimension der Fabrikarbeit gehören auch die Arbeitszeitmodelle, das Schichtsystem sowie das Entgeltsystem. Ferner sind die Mitarbeiter einer Fabrik in der Aufbauorganisation organisiert, die die Führungsstruktur festgelegt.

Alle fünf genannten Dimensionen – Standort, Werkstruktur, Fabrikgebäude mit Fabrikstruktur und Fabriklayout, Produktionslogistik sowie Arbeitsorganisation – werden in der Fabrikplanung ausgestaltet und für den Fabrikbetrieb vorbereitet. Die Fabrik im engeren Sinne, das eingerichtete Gebäude, kann man als Produkt eines Fabrikausrüsters bezeichnen, das dieser schlüsselfertig an den Betreiber übergibt. Nicht vergessen sollte man dabei die Einbettung der Fabrik in ihre räumliche und gesellschaftliche Umgebung sowie die Installation einer zielgerichtet operierenden Produktionslogistik, die die Fabrik erst in einen effizienten, kundenorientierten Arbeitszustand versetzt. Auch die Arbeitsorganisation, die die sozialen Regeln in der Fabrik definiert, kann nur grob konzipiert, nicht als Produkt verkauft und muss im Betrieb gelebt werden. Letzteres ist unabdingbare Voraussetzung dafür, dass Produktionsziele erreicht werden und entsprechend gestaltete Produktionskonzepte erfolgreich sein können. Die Fabrik ist mithin ein sehr komplexes *soziotechnisches System* (Ropohl 1999). Damit ist eine Fabrik jedoch nicht lediglich ein besonders kompliziertes und großes technisches Gerät, sondern es ist ein technisch geformter, also technomorph ausgestalteter und bewohnter Lebensraum des Menschen.

Die Fabrik, derart als Lebensort betrachtet, kann man – analog zum Biotop – als ein *Technotop* auffassen (Erlach 2000). Das menschliche Dasein vollzieht sich, das wird in der Fabrik besonders deutlich, in der Weise technischen Existierens. Die Menschen haben Techniken nicht nur als etwas äußerliches, sondern sie *sind* diese auch. Diese anthropologische Konstante scheint prägend für unseren Lebensstil zu sein. Eine Fabrik ist mehr ein Lebensort als ein Gebäude oder eine Produktionsstätte. Das zeigt auch, weshalb der Bau von Fabriken mit attraktivem Arbeitsumfeld ein notwendiger Luxus ist. Nur so werden die Mitarbeiter ihre Leistungsbereitschaft voll ausleben wollen und können. Es macht ferner plausibel, weshalb erfolgreiche Fabriken in ihrer Gestaltung oft zu den dort produzierten Produkten passen.

1.1.2 Der Wertstrom

Die Frage, wie eine Fabrik nun aussieht, wird in der Regel mit einem Foto vom Gebäude beziehungsweise Werksgelände sowie dem klassischen Gesamtergebnis einer Fabrikplanung, dem Fabriklayout, beantwortet. Damit sind nun aber lediglich Teilaspekte der Fabrik dargestellt, wie aus Obigem

hervorgeht. Hauptsächlich werden die Bezeichnungen der maschinellen Einrichtungen sowie ihre Größe und räumliche Anordnung angegeben. Das lässt jedoch nur wenige Rückschlüsse auf den Produktionsablauf zu und erlaubt gar keinen Schluss auf die Güte der Fabrik. Eine Verbesserung der Darstellung erzielt man durch Einzeichnung des Materialflusses. Dadurch ist die Reihenfolge, in der das Erzeugnis die Betriebsmittel durchläuft, zu erkennen und es kann beurteilt werden, wie gut diese zur Betriebsmittelanordnung passt. Allerdings wird bei komplexen Abläufen die Darstellung der überlagerten Materialflüsse schnell unübersichtlich. Außerdem bleibt eine wichtige Frage unbeantwortet. Man sieht zwar im Materialfluss, dass sich etwas bewegt, nicht aber, weshalb dies geschieht, welcher Informationsfluss also die Produktionsabläufe veranlasst.

Wertstrommethode

Hier liegt nun der große Vorteil der Wertstrommethode. Neben Produktionsprozessen und Materialfluss visualisiert sie auch den Informationsfluss – und zwar innerhalb einer Darstellung. Zusätzliche Flussdiagramme von Geschäftprozessen sind damit lediglich zur Detaillierung erforderlich. Das Vorgangskettendiagramm der Auftragsbearbeitung ist in der Wertstromdarstellung verankert, die Schnittstellen zwischen Produktionsprozessen und Geschäftsprozessen werden deutlich. Ressourcen mit ähnlicher Funktion werden in der Darstellung zu Produktionsprozessen zusammengefasst. Die Abstraktionsleistung der Wertstromdarstellung erhöht gegenüber den zahlreichen im Layout angeordneten Einzelmaschinen die Transparenz der abzubildenden Produktionsabläufe. Verloren geht die räumliche Anordnung der Betriebsmittel. Eine Fabrik konzipieren, planen und darstellen wird man daher zunächst als Wertstrom und anschließend als Layout (Abschn. 4.1).

Die Wertstrommethode bietet mit der *Visualisierung* der Produktionsabläufe eine hervorragende innerbetriebliche Kommunikationsplattform zur gemeinsamen Verständigung über den aktuellen Ist-Zustand sowie den angestrebten Soll-Zustand einer Fabrik. Die umfassende Darstellung der Produktionsabläufe erlaubt eine transparente Analyse der Fabrik, um gezielt Schwachstellen aufzudecken und Verbesserungspotentiale zu erkennen (Kap. 2). Darauf aufbauend können Auswirkungen von Veränderungen in den Abläufen konzeptionell geprüft werden. Gestaltungsrichtlinien weisen dabei den Weg zur Verbesserung der Produktion hin zur wertstromoptimierten Fabrik (Kap. 3).

Die Wertstrommethode ist benannt mit den zwei Komponenten ‚Wert' und ‚Strom'. Der ‚Wert' bezieht sich darauf, dass mit der Herstellung von

Produkten eine *Wertschöpfung* verbunden ist. Dies beschreibt die generelle Absicht des Produzierens, nämlich aus einem Ausgangsmaterial die als wertvoller eingeschätzten Produkte zu erzeugen. Der ‚Strom' bezieht sich darauf, dass ein wesentliches Merkmal dieses Produzierens die räumliche Bewegung und qualitative Veränderung der Teile und Produkte im *Produktionsfluss* ist. Durch die Verwendung maschineller Anlagen sowie die arbeitsteilige Spezialisierung kann nicht alles am gleichen Ort – und dann auch nicht zur gleichen Zeit – erledigt werden.

Wert

Beim Produzieren erhalten die Ausgangsmaterialien durch die Wertschöpfung einen zusätzlichen Wert; das erzeugte Produkt wird daher recht treffend auch als ein ‚Gut' bezeichnet. Der *Wert* eines erzeugten Gutes ergibt sich aus seiner Bewertung bezogen auf einen Maßstab. Daraus folgt das grundsätzliche Problem, dass der Wert sowohl von den Eigenschaften des Gegenstandes als auch vom Maßstab abhängig ist. Aus der Sicht eines produzierenden Unternehmens bietet es sich an, den Wert von Gütern am Maßstab des jeweiligen Produktionsaufwandes zu messen – also sich im Wesentlichen an den Herstellkosten zu orientieren. Daraus resultiert dann die typische Kalkulation in einem Anbietermarkt: Der Preis ergibt sich als Summe von Herstellkosten und der vom Unternehmen festgelegten Gewinnspanne (Abb. 1.1, Fall 1). Den Kunden wird dann das Produkt in der Reihenfolge des Auftragseingangs oder auch nach anderen Gesichtspunkten gewissermaßen zugeteilt. Da im Laufe der Zeit die Kosten durch Lohnerhöhungen, Ersatzinvestitionen und erhöhte Einkaufspreise unvermeidlich ansteigen, sind auch regelmäßige Erhöhungen der Verkaufspreise notwendig.

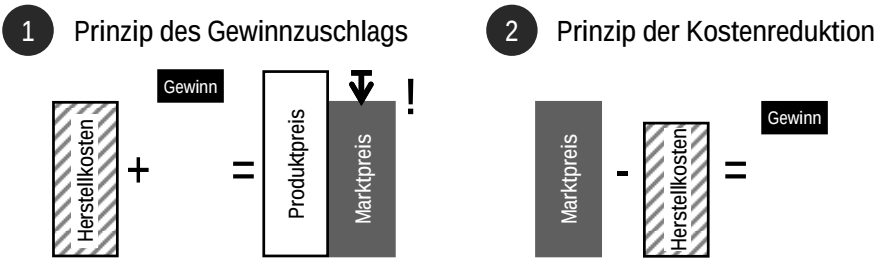


Abb. 1.1. Das Prinzip der Kostenreduktion

Während in einem Anbietermarkt kaum ein Anreiz zur *Kostenreduktion* besteht, kann in Wettbewerbssituationen der Produktpreis durchaus über dem Marktpreis zu liegen kommen. Im globalen Wettbewerb mit frei zu-

gänglichen Märkten ist der Unternehmenserfolg somit wesentlich stärker vom erreichbaren Marktpreis bestimmt. Der Gewinn ergibt sich hierbei umgekehrt nach Abzug der Herstellkosten (Abb. 1.1, Fall 2). Eine Gewinnsteigerung ist demnach auch durch eine gezielte und beständige Kostenreduktion erreichbar. Für die Produktion bedeutet das, dass sie ständig verbessert werden muss, um die Herstellkosten tendentiell abzusenken und die unvermeidlichen Erhöhungen bei den Faktorenkosten durch Senkung des Produktionsaufwandes auszugleichen. Aus Produktionssicht ist das der einzige Stellhebel, um die Wettbewerbsfähigkeit eines Standortes dauerhaft zu sichern.

Je nach standortspezifischer Kombination der Faktorenkosten kann es aber bei manchen Produkten ein recht hoffnungsloses Unterfangen sein, global konkurrenzfähig bleiben zu wollen. Daher sollte man aus Unternehmenssicht nicht vergessen, dass der Preis auch den *Gebrauchwert* einer Ware spiegelt – gemessen nun am subjektiven Maßstab des jeweils vom Käufer erwarteten konkreten Nutzens. Dieser Nutzen resultiert aus der Eignung des Produkts zur Befriedigung eines Kundenbedürfnisses. So kann beispielsweise eine Lampe relativ unabhängig vom Preis mehr oder weniger gut zum Lesen geeignet sein, während repräsentative Aufgaben mit der Materialwertigkeit und damit mit dem Preis enger korrelieren. Der Nutzen kann relativ unabhängig vom Produktionsaufwand wesentlich höher oder schlimmstenfalls auch niedriger liegen als dieser. Entscheidend für den Erfolg eines Produktionsstandorts ist also insbesondere die Fokussierung auf den mit dem erzeugten Produkt generierten Kundennutzen. Das hängt einmal von den konkreten Produkteigenschaften ab – die hier nicht das Thema sind – sowie zum anderen von den kundenbezogenen Leistungsmerkmalen einer Produktion. Letzteres zeigt sich insbesondere in Lieferfähigkeit und Lieferqualität und ist abhängig von der kundenorientierten Gestaltung des Produktionsablaufes.

Strom/Fluss

Zur Beschreibung des Produktionsablaufes in einer Fabrik hat sich die Metapher des Flusses eingebürgert. Wenn sich etwas verändert und bewegt, wenn also das Material von Station zu Station fließt, genau dann ist eine Produktion als positiv zu bewerten. Im negativen Fall spricht man dann davon, dass die Produktion ins Stocken geraten ist, dass sich Material auftürmt und staut. Der *Produktionsfluss* gilt als Merkmal eines guten Produktionsablaufes und wird beispielsweise als Kennzahl mit dem Flussgrad gemessen.

Die reine Veränderung und Bewegung in der Fabrik ist aber letztlich noch keine Garantie dafür, dass die damit verbundenen Tätigkeiten auch wertschöpfend sind, dass also Werte geschaffen werden. Um diesen Aspekt zu betonen, eignet sich der Begriff ‚Wertstrom'. Der *Wertstrom* umfasst alle Tätigkeiten, die zur Wandlung eines Rohmaterials in ein Produkt notwendig sind.

- Das sind erstens die unmittelbar produzierenden Tätigkeiten, also Aktivitäten, die die Merkmale des jeweiligen Materials verändern. Das sind die sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580, nämlich Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaft ändern.
- Es sind zweitens all jene logistischen Tätigkeiten, die der Handhabung, dem Transport, der Lagerung, der Bereitstellung und Kommissionierung dienen.
- Und es sind drittens die gemeinhin als indirekt bezeichneten Tätigkeiten der arbeitsvorbereitenden Planung und Steuerung sowie der instandhaltenden Pflege, Wartung und Reparatur der benötigten Maschinen und Anlagen sowie des Arbeitsplatzes.

Hinzu kommen noch zahlreiche Nebentätigkeiten, die durch spezifische Gegebenheiten, lokale Randbedingung und technologische Anforderungen verursacht sein können.

Die *Wertstromperspektive* einzunehmen heißt nun, alle diese Tätigkeiten als Ganzes in den Blick zu nehmen – und zwar mit besonderem Fokus auf die Wertschöpfung. Nur ein Teil der genannten Tätigkeiten gilt nämlich als *wertschöpfend* – Maßstab ist hier, ob diese Tätigkeit dem Material eine Eigenschaft hinzufügt, die seinen Wert aus Kundensicht erhöht. Allein das ist nicht immer leicht und zweifelsfrei festzustellen. Hinzu kommt, dass zahllose nicht-wertschöpfende Tätigkeiten aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen als notwendig für den Produktionsablauf erscheinen. Zielsetzung einer Produktionsoptimierung ist es daher auch, die nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten zu reduzieren oder gar zu eliminieren.

Produktionsverbesserung

So liegt die Wirkungslogik einer schlanken Fabrik in der Sisyphus-Arbeit ständiger Produktionsverbesserung (Abb. 1.2). Eine ähnliche Darstellung dieses Zusammenhangs findet sich im Daimler Chrysler Produktionssystem (Oeltjenbruns 2000). Kontinuierliche Verbesserungen ziehen, unterstützt durch eine passende Arbeitsorganisation, das mehr oder weniger schnell rotierende Rad des Wertstroms den Hang der Produktionsqualität

nach oben. Verschwendungen aller Art stellen Hindernisse dar, die durch Aufwendungen bei der Umsetzung von Verbesserungen zu überwinden sind. Erreichte Verbesserungen werden durch das Setzen von Standards abgesichert, denn zu jedem guten Produktionsablauf gehört, dass er immer in der gleichen Weise durchgeführt wird. Die Grafik zeigt deutlich, weshalb die *Standardisierung* von solch zentraler Bedeutung ist. Ohne ihre Absicherung würde die Schwerkraft der schlechten Gewohnheiten das Niveau der Produktion sogleich wieder absenken. Außerdem sind manche Störungen und ein Großteil der Verschwendungen in der Produktion nur vor dem Hintergrund der Standards als solche überhaupt erkennbar. Die Gestaltungsrichtlinien für eine wertstromoptimierte Fabrik zielen daher alle auf eine Standardisierung ab, beziehungsweise setzen sie voraus. Mit Einführung einer neuen Produktionstechnologie – meist in Verbindung mit einem neuen oder stark veränderten Produkt – beginnt die Aufgabe der kontinuierlichen Verbesserung wieder auf Basisniveau. Diesmal sind die Veränderungstreiber allerdings um eine Erfahrung reicher und beim Aufstieg manchmal schneller.

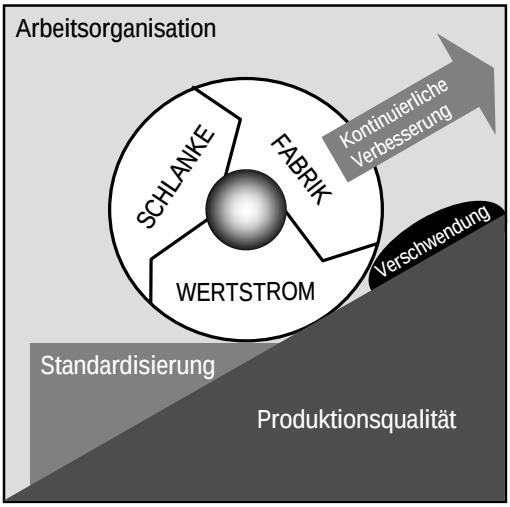


Abb. 1.2. Die Wirkungslogik ständiger Produktionsverbesserung

Bevor nun aber eine neue Produktion geplant oder eine bestehende verbessert werden kann, sollten Ziele und Zielgewichtungen für die Fabrik geklärt werden. Konkrete Einzelziele lassen sich in ein Zielsystem hierarchisch einordnen. Auf der höchsten Abstraktionsebene gibt es vier voneinander unabhängige Zieldimensionen, die nicht wechselseitig aufeinander reduziert werden können. Diese und vor allem ihr Zusammenhang und ihre Wechselwirkungen sollen im Folgenden näher beleuchtet werden.

1.2 Die vier Ziele der Produktion

Die erste Frage, die sich bei der Produktionsoptimierung stellt, ist die nach den Zielen, an denen die Verbesserungen zu messen sind. Die jeweilige Zielerreichung gibt dann an, wie gut eine Produktion ist, wie effizient sie arbeitet. In analoger Struktur können dann auch die Erfolgsfaktoren der in einer Fabrik produzierten Produkte am Markt angegeben werden. Diese Erfolgsfaktoren geben an, welche Kundenwünsche durch welche Leistungsmerkmale zu erfüllen sind, damit eine Fabrik erfolgreich am Markt agieren kann.

Gängig bei der Zielsetzung für Produktionen ist die Angabe der ‚heiligen Trinität' von Kosten, Qualität und Zeit – aufgezählt in der Reihenfolge ihrer ‚gefühlten' Wichtigkeit. Diese drei Punkte sind nicht ganz korrekt als Zielsetzung formuliert – gemeint sind damit niedrige Herstellkosten, hohe Produktqualitäten sowie kurze Durchlaufzeiten in Produktion und Auftragsabwicklung. Seltener und wohl auch erst in jüngerer Zeit wird explizit auch die angebotene Produktvielfalt als Produktionsziel formuliert. Die Zeiten der Massenfertigung, die der Henry Ford zugeschriebene Satz „Sie können jede Farbe haben, so lange es nur schwarz ist" so treffend charakterisiert, sind in dieser Form vorbei. In Serie hergestellte Produkte, die sich nicht im untersten Preissegment positionieren, heben sich daher insbesondere durch den ‚langen Schwanz' der Reihe unzähliger möglicher Varianten von der Konkurrenz ab.

Zieldimensionen

Eine Produktion ist demnach in seiner Leistungsfähigkeit durch vier voneinander unabhängige Zieldimensionen grundsätzlich bestimmt (Abb. 1.3). Diese vier Dimensionen Variabilität, Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit spannen auf allgemeiner Ebene die Breite des für eine Produktion geltenden *Zielsystems* auf. Jeder Zieldimension können einige typische Teilziele zugeordnet werden, die in ihrem wechselseitigen Zusammenhang das Zielsystem einer Produktion und damit die *Fabrikziele* formulieren. Die den vier Dimensionen zugeordneten Fabrikziele sind in der Realisierung voneinander abhängig, sie können also auch im Konflikt zueinander stehen (Abschn. 1.2.1). Sie können aber nicht wechselseitig ausgedrückt werden, das heißt die einer Dimension zugeordneten Ziele sind nicht auf Ziele in einer anderen Dimension rückführbar beziehungsweise reduzierbar. Qualitätsziele lassen sich beispielsweise nicht durch eine Rüstzeitreduzierung zugleich mit erreichen und auch nicht auf eine reine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung reduzieren, wenn es um die Gestal-

tung einer Fabrik geht. Wohl aber können die einzelnen Ziele durch unterschiedliche Gewichtung eine unterschiedliche Relevanz erhalten.

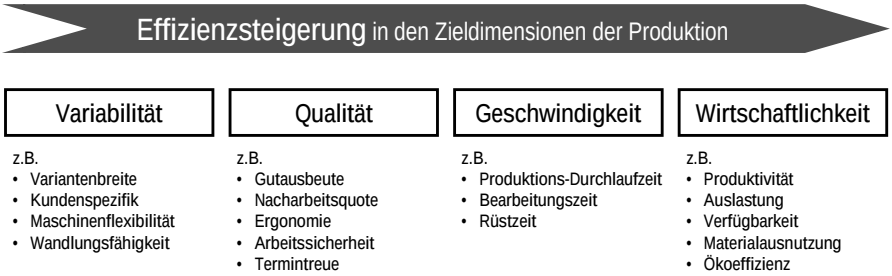


Abb. 1.3. Die vier Zieldimensionen der Produktion

Die vier Zieldimensionen sollen im Folgenden mit einigen Beispielen der zugeordneten konkreten Teilziele näher erörtert werden:

1. Die *Variabilität* einer Produktion gibt an, wie breit das mit ihm bewältigbare Produktionsspektrum ist. Hier ist festzulegen, welche Produkte in jeweils wie vielen Varianten produziert werden sollen – und ob es kundenspezifisch gestaltete Produkte gibt. Die Flexibilität einer Produktion gibt an, welche kurzfristigen Schwankungen der Marktnachfrage noch erfüllbar sind. Die Wandlungsfähigkeit beschreibt das Vermögen einer Produktion, kurz- bis mittelfristig strukturell auf geänderte Anforderungen zu reagieren.
2. Die *Qualität* einer Produktion gibt einerseits an, wie gering der produzierte Ausschuss beziehungsweise wie hoch die Gutausbeute der Produktionsprozesse ist. Andererseits beschreibt sie, wie gut jeweils welches Toleranzniveau eingehalten wird und wie zuverlässig die Produktionsprozesse arbeiten. Eng damit verbunden ist die Frage, ob die benötigten Mengen in exakter Stückzahl produziert werden können. Auch Ergonomie und Arbeitssicherheit der Produktionsprozesse sind eine Qualitätsgröße in einer Produktion. Ferner ist die Einhaltung von Terminen – sowohl intern als auch extern – ein Qualitätsmerkmal der Produktion.
3. Die *Geschwindigkeit* einer Produktion gibt zum einen an, wie zeitaufwendig die wertschöpfenden Prozessschritte sowie die zugehörigen Nebentätigkeiten, wie beispielsweise das Rüsten, sind. Zum anderen gehört zu dieser Zieldimension die Dauer der Produktionsdurchlaufzeit. Die Maschinenverfügbarkeit drückt die qualitative Zuverlässigkeit von Produktionsprozessen in ihrem zeitlichen Charakter aus. Häufigkeit und Dauer von Störungen können sehr prägend für die Effizienz einer Produktion sein.

4. Die *Wirtschaftlichkeit* einer Produktion gibt im Wesentlichen seine Produktivität bezogen auf alle Produktionsfaktoren an. Hier finden sich schließlich die Faktorenkosten wieder, die durch die Anforderungen der Variabilitäts-, Qualitäts- und Geschwindigkeitsziele vorgeprägt sind. Unmittelbar relevant für die Wirtschaftlichkeit sind die Personalproduktivität, die Maschinenauslastung sowie die Materialausnutzung.

Die hier gewählte Reihenfolge der Zieldimensionen orientiert sich nicht an deren jeweiligen Wichtigkeit, denn diese ist je nach Produktion unterschiedlich. Sie gibt jedoch die logische Abfolge der erforderlichen Zielfestlegung in den einzelnen Dimensionen an. So beginnt man mit der Festlegung des zu produzierenden Produktspektrums, mit dem man sich einen Markterfolg erhofft. Anschließend sind dann die angestrebte Produktqualität und die zugehörige Produktionsqualität festzulegen. Wenn die Produktionsprozesse technologisch feststehen, können Bearbeitungszeiten und Prozessdauern ermittelt werden. Außerdem sind dann die Punkte im Produktionsfluss bekannt, an denen die Varianten gebildet werden. Erst abschließend kann mit der konkreten Gestaltung und Auswahl der zur Erreichung der anderen Ziele benötigten Ressourcen die Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Spätestens bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gibt es dann Rückwirkungen auf die anderen drei Zieldimensionen. In der Regel führt das zur wechselseitigen Einschränkung der Zielerreichungsgrade, das heißt bei Variabilität, Qualität oder Geschwindigkeit müssen aus Kostengründen sowie anderen Unverträglichkeiten Abstriche gemacht werden.

Die Aufgabe der Produktionsoptimierung ist es nun, die *Effizienz* der Produktion im Hinblick auf die vier einander widerstrebenden Zieldimensionen beständig zu steigern. Dabei ist erschwerend zu berücksichtigen, dass diese Zielsetzungen auch eine historisch veränderliche relative Gewichtung haben – insbesondere getrieben durch technologische Entwicklung und gesellschaftlichen Wohlstand. Geht es zunächst darum, überhaupt ein bestimmtes Produkt zu besitzen, so steigen mit wachsendem Wohlstand und technologischer Erfahrung die Ansprüche an die Eigenschaften der Produkte, wie Funktionalität und Qualität. Dies kann zu höheren Erwartungen an die Leistungsfähigkeit der Produktion einhergehend mit der Akzeptanz (geringfügig) höherer Preise oder auch zu extremem Preisdruck bei verringerten Ansprüchen führen. Diese Erfahrung resultiert aus dem einfachen, doch leicht zu übersehenden Zusammenhang, dass gesellschaftlicher Wohlstand nur dann steigen kann, wenn die Produkte immer billiger werden, oder wenn sie bei nur moderat steigenden Preisen immer besser und leistungsfähiger werden. Der Kostendruck in der Produktion ist die Rückseite der Wohlstands-Medaille. Ermöglicht wird dies

durch den technologischen Fortschritt. Dieser bietet entweder eine deutlich erhöhte Wirtschaftlichkeit bei der Produktion oder aber mehr Möglichkeiten, den Erreichungsgrad der leistungsbezogenen Ziele zu verbessern, ohne dabei die Wirtschaftlichkeit allzu sehr zu beanspruchen.

Erfolgsfaktoren

In diesen eher weit gefassten Grenzen kann sich ein Unternehmen mit seinen Produkten spezifisch am Markt positionieren – und niedrig- oder hochpreisige Produkte anbieten. Das Preisniveau kann gerechtfertigt sein durch Materialqualität, Verarbeitungsqualität, Haltbarkeit und Zuverlässigkeit, Design und Marken-Image, Verfügbarkeit, innovative Produktgestaltung, Folgekosten der Anwendung, Umweltverträglichkeit und anderes mehr (Abb. 1.4). Die analoge Struktur der Zieldimensionen der Produktion und der Erfolgsfaktoren der Produkte zeigt, dass beide aufeinander abgestimmt sein müssen. Die an einem bestimmten Produktionsstandort angestrebten Zielsetzungen müssen zur jeweiligen, vom Unternehmen strategisch festgelegten Ausprägung der Erfolgsfaktoren passen. So können die Stärken eines jeden Standorts auf entsprechend hohe Anforderungen an das dort herzustellende Produkt treffen.

Abb. 1.4. Die vier Erfolgsfaktoren der Produkte am Markt

Zieldimensionen

Aufgabe der Produktionsoptimierung ist es, die *Effizienz* der Produktion im Hinblick auf vier einander widerstrebende Zieldimensionen beständig zu steigern. Diese vier Dimensionen Variabilität, Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit spiegeln sich als Erfolgsfaktoren der Produkte am Markt. Mit den Marktzielen Lieferbarkeit, Lieferfähigkeit und Liefertreue, Lieferzeit sowie Preis sind die strategischen Vorgaben für eine Produktion im Wesentlichen komplett umrissen.

1.2.1 Die Dilemmata der Produktionsablaufplanung

Die Herausforderung an das Produktionsmanagement liegt nun darin, dass Maßnahmen zur Verbesserung einer Zieldimension oft zur Verschlechterung des Zielerreichungsgrades bei den anderen Dimensionen führen. Diese Zielwidersprüche treten bei der Disposition sowie der Ablaufplanung zwischen drei Zielgrößen auf und sind in der Fachliteratur jeweils als entsprechendes ‚Dilemma' (Gutenberg 1951) oder als *Zielkonflikte* der Produktionslogistik (Wiendahl 1997) bekannt. Sie sollen hier im Folgenden in leicht angepasster Weise jeweils als Dreiecksschema nachgezeichnet werden. Diese Vorarbeit erlaubt es, unter Ergänzung der vierten Zieldimension ‚Variabilität' ein allgemeines Schema der Zieldimensionen zu entwickeln (Abschn. 1.2.2).

Ablaufplanungsdilemma

Das *Ablaufplanungsdilemma* tritt bei der Ablaufplanung beziehungsweise Terminplanung für eine Produktion auf (Abb. 1.5). Deren Zielsetzung ist es, Fertigungs- und vor allem Kundenaufträge termingetreu fertigzustellen. Die Termintreue ist ein Maß für die logistische Prozesssicherheit der Produktion, die es zu maximieren gilt (Zieldimension ‚Qualität'). Insbesondere bei schwankendem Kundenbedarf ist dieses Ziel am einfachsten bei mehr oder weniger unbegrenzten Produktionskapazitäten zu erreichen. Da wegen der beschränkten Investitionsmittel Kapazitäten jedoch immer begrenzt sind, ist es gleichzeitig ein Ziel der Ablaufplanung, mit einer hohen Kapazitätsauslastung niedrige beziehungsweise marktfähige Produktionskosten zu erreichen (Zieldimension ‚Wirtschaftlichkeit'). Dazu ist eine Vergleichmäßigung der Produktionsmenge erforderlich.

Die Realisierung einer exakt gleichmäßigen Auslastung bei schwankender Kundennachfrage führt unweigerlich zu Schwankungen in den Durchlaufzeiten von Kunden- und Produktionsaufträgen. Dies gefährdet das Ziel der Termintreue, da die Einhaltung von Terminzusagen vorhersehbare Durchlaufzeiten voraussetzt. Generell gilt, dass kurze Durchlaufzeiten vorhersehbarer sind, da erstens für terminliche Verschiebungen weniger Zeit besteht; Aufträge sind gewissermaßen schon fertig bearbeitet, bevor man dazu kommt, Terminverschiebungen einzuplanen. Damit sind sie zweitens auch leichter plan- und steuerbar, da aufwendige Umplanungen sowie veränderliche Prioritäten entfallen. Schließlich sind drittens auch höhere prozentuale Schwankungen absolut betrachtet bei vergleichbaren Produkten von geringerer Bedeutung – bei zwei Tagen Lieferzeit machen fünfzig Prozent Verzögerung einen Tag aus, der eventuell durch eine Expresszustellung wieder einholbar ist, während dies bei einem Monat

Lieferzeit schmerzliche zwei Wochen wären (Zieldimension ‚Geschwindigkeit'). Zielsetzung der Ablaufplanung ist es also, Prozesssicherheit hinsichtlich Termintreue und Dauer bei gleichzeitig niedrigen Produktionskosten zu erreichen. Dabei steht die Auslastungsmaximierung im Zielkonflikt zur Maximierung der Termintreue und Minimierung der Durchlaufzeit, während die letzteren beiden, wie in der Abbildung gezeigt, durchaus verträglich sind (Abb. 1.5).

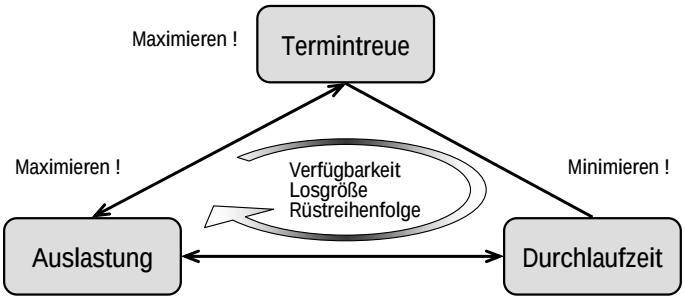


Abb. 1.5. Ablaufplanungsdilemma mit Zielkonflikten und Einflussgrößen

Die begrenzte Produktionskapazität wird zudem durch mangelhafte technische *Verfügbarkeit* der Ressourcen zeitlich unvorhersehbar eingeschränkt. Die dadurch beeinflusste Maschinenauslastung hat Rückwirkungen auf Durchlaufzeit und vor allem die Termintreue. Weitere Restriktionen entstehen insbesondere durch Rüstanforderungen, die einerseits als Rüstzeiten die verfügbare Kapazität weiter vermindern und damit die Ressourcenkosten erhöhen sowie andererseits eine Bildung von Produktionslosen, die typischer Weise gerade nicht dem unmittelbaren Kundenbedarf entsprechen, erforderlich machen. Optimierungsgrößen bei der Ablaufplanung sind damit die Produktions-*Losgrößen* sowie deren Reihenfolge, das heißt die *Rüstreihenfolge* (Abb. 1.5). Beides beeinflusst den Zielerreichungsgrad maßgeblich. Beim Rüsten zeigt sich der Zielkonflikt zwischen der Dringlichkeit einer Variante bezogen auf den aktuellen Kundenbedarf sowie dem von Losgröße und variantenabhängiger Rüstreihenfolge bestimmten Kapazitätsangebot.

Dispositionsdilemma

Das *Dispositionsdilemma* tritt sowohl bei der Disposition von Halbfabrikaten und Fertigprodukten als auch beschaffungsseitig bei der Materialwirtschaft in Erscheinung (Abb. 1.6). Zielsetzung der Disposition ist es, den Kunden eine Lieferung entsprechend des jeweiligen Kundenwunschtermins zusagen zu können, also eine hohe Lieferfähigkeit zu erreichen. Die

Lieferfähigkeit ist ein Maß für die logistische Prozessfähigkeit der Fabrik, die es zu maximieren gilt (Zieldimension ‚Qualität'). Dies ließe sich leicht erreichen, wenn alle Produkte als Fertigware in den maximalen Bestellmengen der Kunden vorrätig gehalten würden. Je nach Varianzbreite der Endprodukte hätte man es dann jedoch mit exorbitanten Kapitalbindungskosten im Bestand zu tun. Um dies zu vermeiden, disponiert und lagert man Halbfabrikate und Rohmaterialien. Die geforderte Minimierung der jeweiligen Bestände setzt eine im Vergleich zur Lieferzeit geringere Wiederbeschaffungszeit beim Lieferanten respektive der eigenen Vorproduktion voraus. Hierbei gilt als wichtige Nebenbedingung, dass die Lieferzeit marktgerecht kurz sein muss (Zieldimension ‚Geschwindigkeit').

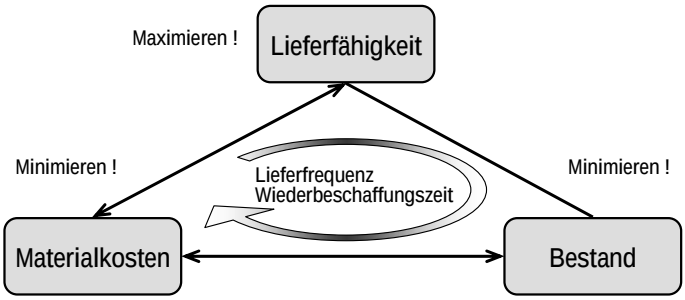


Abb. 1.6. Dispositionsdilemma mit Zielkonflikten und Einflussgrößen

Eine Bestandssenkung bei kurzen Wiederbeschaffungszeiten macht häufigere Bestellungen in kleineren Bestellmengen mit häufigeren Transporten erforderlich. Der mit der Zahl der Bestellvorgänge erhöhte Verwaltungsaufwand, die kleineren Bestellmengen in gegebenenfalls kleineren Verpackungen zum höheren Stückpreis sowie die häufigeren Lieferungen führen in der Regel zu höheren Materialkosten. Die Aufgabe der Beschaffung liegt nun darin, die Dispositions- und Beschaffungskosten auch bei kleineren, häufigeren Bestellvorgängen gering zu halten. Ganz analog verursacht das häufigere Auflegen von Fertigungsaufträgen in der internen Vorproduktion in der Regel höhere Kosten, die durch Minimierung von Steuerungsaufwänden, Transportstrecken und Rüstzeiten reduziert werden können (Zieldimension ‚Wirtschaftlichkeit'). Zielsetzung der Disposition ist es also, Prozessfähigkeit der Fabrik hinsichtlich Materialverfügbarkeit beziehungsweise Lieferfähigkeit bei gleichzeitig niedrigen Beschaffungskosten sowie geringen Beständen an Rohmaterialien und Halbfabrikaten zu erreichen. Dabei stehen die Maximierung der Lieferfähigkeit, die Minimierung der Bestände sowie die Minimierung der Materialkosten zueinander im Zielkonflikt (Abb. 1.6).

Optimierungsgrößen für die Disposition und die Materialwirtschaft sind die *Lieferfrequenz* und die *Wiederbeschaffungszeit* (Abb. 1.6). Eine Erhöhung der Lieferfrequenz ermöglicht kleinere Bestellmengen bei Lieferanten und in der Vorproduktion und ist Voraussetzung für Bestandsenkungen bei Rohmaterialien und Halbfabrikaten. Der erreichbare Maximalwert der Lieferfrequenz wird durch die Bestellkosten beschränkt. Durch Absenkungen der Kosten für einen Vorgang kann der Zielkonflikt entschärft werden; der Produktionsablauf verbessert sich insgesamt. Eine Verringerung der Wiederbeschaffungszeit senkt den Planungshorizont und erlaubt so, auf Kundenbedarfsschwankungen auch in der Beschaffung schnell zu reagieren. Dabei reicht es allerdings nicht aus, die Wiederbeschaffungszeit lediglich durch eine Bestandserhöhung beim Lieferanten zu verringern, der dann kurzfristig ab Lager liefern könnte, denn das würde sich früher oder später im Einkaufspreis bemerkbar machen. Bei vergleichsweise langer Wiederbeschaffungszeit lediglich die Lieferfrequenz zu erhöhen, ist ebenfalls nicht zielführend, denn bei Fehlprognosen würden die Bestände steigen, da ja immer mehrere Lieferungen bereits unterwegs sind.

Zieldilemma der Produktion

Die obige Betrachtung von Ablaufplanungsdilemma und Dispositionsdilemma zeigt, dass sich die allgemein bekannten betrieblichen Zielkonflikte auf die drei Hauptziele Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit beschränken. Dies lässt sich zusammenfassend im Dreiecksschema zum Dilemma der drei klassischen Ziele der Produktion darstellen (Abb. 1.7). Die Zieldimensionen sollen im Folgenden im Hinblick auf einige ausgewählte, in der Abbildung mit der jeweiligen Zielrichtung dargestellte Teilziele von zentraler Bedeutung näher erörtert werden.

Qualität Hierbei sind *technologische* Qualitätsziele von *logistischen* Qualitätszielen zu unterscheiden. Die technologische Qualität zeigt sich zum einen im Ergebnis, also in der *Produktqualität*, sowie zum anderen im Prozess, also in der *Produktionsqualität*. Der Unterschied besteht im Wesentlichen darin, wann und wo ein Fehler entdeckt wird. Geschieht dies noch in der Fabrik, dann liegt Ausschuss vor oder Nacharbeit ist erforderlich. Die Qualitätsmängel werden unmittelbar in der Produktion verortet. Wird ein Fehler erst nach Auslieferung entdeckt, dann fließt dies in die kundenseitige Bewertung der Produktqualität ein. Nun ist einer der Erfolgsfaktoren betroffen.

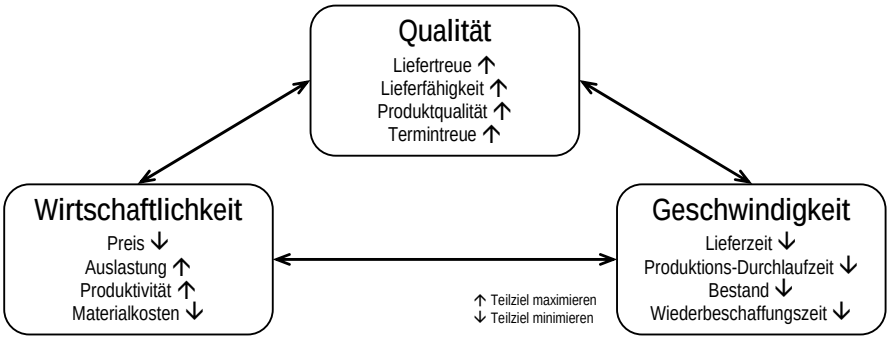


Abb. 1.7. Das Dilemma der drei Ziele der Produktion

Die logistische Qualität wird im Wesentlichen durch Termineinhaltung gemessen. Dabei sind grundsätzlich vier Termine zu unterscheiden: Der in der Bestellung gewünschte *Kundenwunschtermin*, der mit der Auftragsbestätigung zugesagte *Liefertermin*, der firmenintern in der Produktion geplante *Fertigstellungstermin* sowie schließlich der tatsächlich realisierte *Auslieferungstermin*. Im Idealfall betreffen alle diese vier Termine genau den gleichen Zeitpunkt. Weichen die Termine voneinander ab, so ergibt sich aus den Abweichungen von jeweils zwei Terminen jeweils eine Qualitätskennzahl. In der betrieblichen Praxis sinnvoll ist die Messung der folgenden drei Kennwerte:

- Die *Lieferfähigkeit* gibt den Grad der Übereinstimmung zwischen Kundenwunschtermin und zugesagtem Liefertermin in gewünschter Liefermenge an.
- Die *Lieferqualität* gibt den Anteil der in richtiger Menge zum zugesagten Liefertermin (Liefertreue) und ohne Qualitätsmängel der Produkte (Produktqualität) ausgelieferten Kundenaufträge an.
- Die *Termintreue* gibt den Anteil der in richtiger Menge rechtzeitig zum geplanten Fertigstellungstermin produzierten Teile und Produkte an.

Die Lieferfähigkeit trifft eine Aussage über die logistische *Prozessfähigkeit*, die Lieferqualität trifft eine Aussage über die logistische *Prozesssicherheit* (Wiendahl 2002). Beides sind Ziele, die ein Unternehmen marktseitig verfolgt. Die betriebsinterne Termintreue hingegen bleibt dem Kunden in der Regel verborgen und ist ausschließlich für die innerbetrieblichen Zwecke der Ablaufplanung relevant. Generell können also Markt- und Betriebsziele unterschieden werden. Alle genannten Qualitäts-Kennzahlen der Termineinhaltung und Fehlerfreiheit gilt es im Idealfall zu maximieren.

Geschwindigkeit Auch bei den zeitlichen Kennwerten einer Produktion sind Markt- und Betriebsziele zu unterscheiden. Erstere werden mit der Lieferzeit, letztere mit Durchlaufzeiten angegeben beziehungsweise gemessen. Von der Marktseite her gilt es, eine wettbewerbsfähige *Lieferzeit* anbieten zu können. Betrieblich realisiert wird sie durch eine entsprechend schnelle Auftragsabwicklung, gerechnet vom Bestelleingang beziehungsweise der Auftragserfassung bis zur Auslieferung.

Davon zu unterscheiden ist die innerbetriebliche *Produktionsdurchlaufzeit*. Direkt mit dieser korreliert sind die Bestände, die daher, obwohl auch Kostenfaktor, im Wesentlichen ein zeitliches Maß für die Produktion darstellen. Lieferzeit und Produktionsdurchlaufzeit sind teilweise unabhängig voneinander. Während die Lieferzeit um die administrative Auftragsabwicklung länger als die Durchlaufzeit ist, ist erstere um den zeitlichen Anteil der kundenanonymen Vorproduktion kürzer als letztere.

Ein weiterer zeitlicher Faktor ist die *Wiederbeschaffungszeit*. Sie kann sich einerseits auf die Dauer der betriebsinternen kundenanonymen Vorproduktion sowie andererseits auf die externe Beschaffung von Rohmaterial bei Lieferanten beziehen. Letztere beeinflusst bei kundenspezifischen Teilen unmittelbar die Lieferzeit. Bei kurzfristig starken Nachfragesteigerungen kann auch kundenanonymes Material ausgehen, so dass die Lieferzeit hierbei mittelbar negativ beeinflusst wird. Die betriebsinterne Wiederbeschaffungszeit ist nicht nur abhängig von der Dauer der Vorproduktion, also der entsprechenden Durchlaufzeit, sondern auch vom Zeitbedarf für die Einplanung und Einsteuerung der entsprechenden Fertigungsaufträge.

Die Reduktion der genannten Zeitkennzahlen durch *Beschleunigung* der Produktion, der Beschaffung sowie der Auftragsabwicklungsprozesse unterstützt den Erfolgsfaktor kurzer Lieferzeiten. Bei weiterer Minimierung der Zeitwerte unter das zum Erreichen der geforderten Lieferzeit notwendige Niveau kann bei beschränkten Kapazitäten auch das Qualitätsziel der Lieferfähigkeit gefördert werden. Letztgenannter Zusammenhang zeigt bereits die später ausgeführte wechselseitige Abhängigkeit und Einflussnahme der Ziele untereinander.

Wirtschaftlichkeit Der marktseitig entscheidende Erfolgsfaktor ist – sofern man sich über das zu bestellende Leistungsangebot einig geworden ist – der *Preis*. Um im internationalen Wettbewerb mit konkurrenzfähigen Preisen Gewinne zu sichern, gilt es, alle *Kosten* zu minimieren. Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ist jedoch alles andere als einfach und kann hier nicht vertieft werden. Es sei im Folgenden nur kurz auf die drei Hauptfaktoren Personal, Betriebsmittel und Material hingewiesen. Zu beachten ist, dass nicht die absoluten Kostensätze, sondern nur die entsprechenden relativen Kennzahlen entscheidend sind.

- Beim Personal sind nicht die Lohnkosten pro Mitarbeiterstunde, sondern die *Personalproduktivität*, beispielsweise gemessen in Lohnstückkosten, ausschlaggebend für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Zu beachten ist, dass auch Investitionen die Personalproduktivität beeinflussen. Damit überlagern sich jedoch fixe und variable Kosten, die sich nicht in der gleichen Weise beeinflussen lassen.
- Maschinenstundensätze gehören zu den Fixkosten, sind jedoch eigentlich abhängig von der jeweiligen *Auslastung*, die wiederum von Nachfrage und den gewählten Losgrößen abhängig ist.
- Die *Materialkosten* sind nicht nur von externen Faktoren abhängig, wie Einkaufspreis und Transportkosten. Hinzu kommen die betriebsinternen Abläufe mit den Bestellkosten, diese wiederum bezogen auf die Bestellfrequenz. Nicht zuletzt beeinflussen auch die Produktionstechnologien die Materialkosten pro Stück über den Grad der Materialausnutzung, beispielsweise beim Verschnitt.

Kennzahlen

Die drei Zieldimensionen Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit weisen jeweils eine Differenzierung in *Marktziele* und *Betriebsziele* auf. Marktziele sind Lieferqualität und Lieferfähigkeit, Lieferzeit sowie Lieferpreis. Betriebsziele sind Termintreue, Durchlaufzeit, Wiederbeschaffungszeit, Produktivität, Auslastung und Materialkosten. Dies stellt eine Auswahl aus den üblichen Kennzahlen zur Leistungsmessung in der Produktion dar und kann entsprechend der jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ergänzt werden.

Ein *Kennzahlensystem* für eine Produktion muss an den passend zu den Marktzielen parametrisierten Betriebszielen ansetzen – und ist entsprechend der vier Zieldimensionen zu gliedern.

Nicht erörtert worden sind die wechselseitigen Abhängigkeiten der drei klassischen Zieldimensionen. Außerdem ist das Dreiecksschema noch um die vierte Zieldimension der Variabilität zu ergänzen. Beides soll im Folgenden mit der Konstruktion des logischen Zielquadrates unternommen werden.

1.2.2 Das logische Zielquadrat

Das vierte Ziel einer hohen Variabilität der Produktion taucht in der Literatur zur Produktionsorganisation selten und allenfalls am Rande explizit auf. Das zuvor ausführlich erläuterte Zieldilemma der Produktion erweitert sich dadurch um eine Dimension. Somit sind bei der Festlegung der

Fabrikziele die spezifischen Zielkonflikte von vier unabhängigen, nicht aufeinander reduzierbaren Dimensionen zu berücksichtigen und schließlich zu entscheiden. Im Folgenden ist neben der vierten Zieldimension darzustellen, wie die einzelnen Konfliktlinien zwischen den Zieldimensionen im erweiterten Zieldilemma der Produktion verlaufen.

Variabilität

Als Marktziel kann hier die *Lieferbarkeit* angegeben werden. Diese Größe gibt an, ob ein Produkt überhaupt, das heißt unabhängig von seiner gegenwärtigen Verfügbarkeit, lieferbar ist. Während die Lieferfähigkeit Auskunft über die Verfügbarkeit zum jeweiligen Liefertermin gibt, besagt die Lieferbarkeit, welcher Kundenwunsch im Prinzip erfüllbar und damit lieferbar ist, wie also das angebotene Produktspektrum aussieht.

Abgeleitet daraus ergibt sich das Betriebsziel, die angebotene Produktvielfalt auch abdecken zu können. *Flexibilität* und *Wandlungsfähigkeit* stellen sicher, dass die gesamte Varianz und Kundenspezifik des Produktspektrums auch produziert werden kann. Die Variabilität ist inzwischen relativ zu den anderen Zielen von steigender Bedeutung für den Unternehmenserfolg. In vielen Märken kann ein Unternehmen seine Wettbewerbsfähigkeit gerade dadurch erhalten, dass es hierauf seine höchste Zielgewichtung legt. So ist eine hohe Qualität oft eine Selbstverständlichkeit und lediglich die kurzfristige Verfügbarkeit eines auf den Kunden zugeschnittenen Produktes kann ein Unternehmen vom global verfügbaren Produktstandard mit meist niedriger Gewinnmarge abheben.

Zielkonflikte

Wie sich bei den klassischen Dilemmata bereits angedeutet hat, stehen die vier Zieldimensionen nicht alle in gleicher Weise im Widerspruch zueinander. Die Zielkonflikte sind vielmehr mehr oder weniger strikt ausgeprägt. Manche Ziele sind einfacher erreichbar als andere, manche Ziele sind miteinander bedingt verträglich, andere sind in der Zielerreichung gänzlich unverträglich. Insgesamt lassen sich vier Typen möglicher Verhältnisse der vier Zieldimensionen untereinander unterscheiden:

1. Der *kontradiktorische Zielwiderspruch* ist der am stärksten ausgeprägte Widerspruchstyp. Hierbei führt die Verbesserung im Erreichungsgrad des einen Ziels zur Verschlechterung beim jeweils anderen Ziel.
2. Beim *konträren Zielwiderspruch* ist die Zielerreichung der beiden einander gegenüberstehenden Ziele jeweils unverträglich. Dieser

etwas abgeschwächte Widerspruch bedeutet, dass sich die Erfüllung der beiden Ziele nicht gleichzeitig verbessern lässt; wohl aber kann eine Zielerfüllung verbessert werden, ohne dass das andere Ziel dadurch schlechter erfüllt wird.

3. Manche Ziele lassen sich grundsätzlich leichter verwirklichen als andere, da sie geringere Anforderungen bei der Umsetzung stellen. Diese *Zielunterordnung* ist im logischen Sinne, nicht jedoch hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz, zu verstehen.
4. Eine *Zielverträglichkeit* besteht, wenn sich der Erfüllungsgrad zweier Ziele nicht gleichzeitig verschlechtern lässt, ohne dies explizit als Ziel anzustreben. In diesem Fall lassen sich beide Ziele unabhängig voneinander besser erfüllen.

Logisches Zielquadrat

Die vier Zieldimensionen können nun in einem Quadrat angeordnet werden. Durch die vier Seiten und zwei Diagonalen ergeben sich insgesamt sechs Oppositionsstellungen zwischen den vier Zieldimensionen. Jeder dieser Oppositionen kann nun ein Typ der zuvor erörterten Zielkonflikte zugeordnet werden. Die Zusammenhänge zwischen den vier Zieldimensionen und den jeweils zugehörigen Zielkonflikten lassen sich so zum *logischen Zielquadrat* verdichtet darstellen (Abb. 1.8). Die Anordnung der vier Zieldimensionen im Quadrat ergibt sich aus der jeweiligen Art der wechselseitigen Zielkonflikte, ist also nicht beliebig. Anhand dieser schematischen Darstellung kann der unterschiedliche logische Charakter der Zielkonflikte in der Produktion aufgezeigt werden. Die allgemeine Darstellung der Zusammenhänge soll helfen, bei konkret aufscheinenden Zielkonflikten den Widerspruchscharakter zu klären und in Abhängigkeit davon gegebenenfalls eine teilweise Verträglichkeit zu erreichen. Im Folgenden werden alle sechs Zielkonflikte näher beschrieben.

1. Qualität & Wirtschaftlichkeit: kontradiktorischer Zielwiderspruch
Diese Konfliktlinie besagt, dass die Verbesserung der Qualität immer zu höheren Kosten führt. So macht beispielsweise eine Steigerung der Produktqualität genauere und damit teurere Ressourcen, höher qualifizierte und daher besser bezahlte Mitarbeiter und gegebenenfalls zusätzliche, nicht kostenfreie Qualitätssicherungsprozesse erforderlich. Und falls man diese zusätzlichen Ausgaben scheut, erhöhen sich bei den angenommenen höheren Qualitätsanforderungen die unmittelbaren Ausschusskosten, da nun weniger Teile innerhalb der Toleranz liegen. Das häufig verfolgte Ziel, durch eine mit größeren Losgrößen erhöhte Auslastung die Wirtschaftlichkeit zu steigern, senkt die logistische Qualität. Da bedingt durch

größere Lose längere und stärker schwankende Wartezeiten vor den Ressourcen entstehen und deshalb auf dringend benötigte Teile länger gewartet werden muss, sinkt die Termintreue. Eine eingeschränkte Aufhebung des Zielkonfliktes liegt darin, die dem Marktpreis angemessene Qualität zu erreichen.

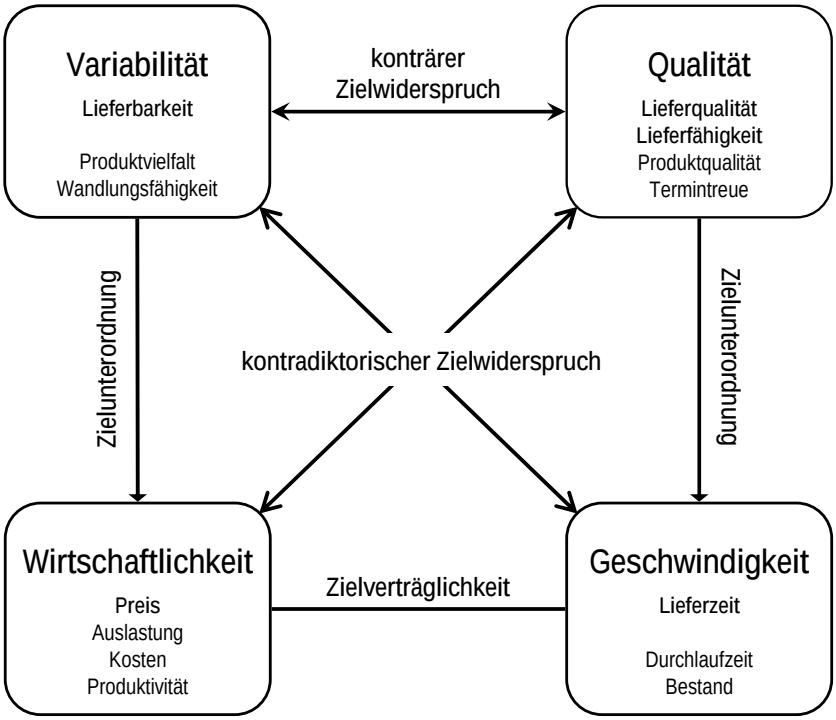


Abb. 1.8. Das logische Zielquadrat der Produktion mit den sechs Konfliktlinien

2. Variabilität & Geschwindigkeit: kontradiktorischer Zielwiderspruch
Diese Konfliktlinie besagt, dass die Erhöhung der Variabilität immer zu längeren Lieferzeiten und oder höheren Beständen führt. Ein einfaches Beispiel für diesen Effekt ist das Kanban-Supermarkt-Lager, in dem immer alle Varianten gelagert werden müssen. Mit der Anzahl der Varianten steigen der Bestand und damit die Produktionsdurchlaufzeit (Abschn. 3.3.2). Die kürzestmögliche Lieferzeit erreicht man mit lagerhaltigen Produkten, da das Auslagern in der Regel schneller geht als jeder Herstellungsprozess. Lagerfertigung ist jedoch nur bei einem eingeschränkten Produktspektrum möglich; für kundenspezifische Produkte ist dies schlechterdings unmöglich zu erreichen. Generell gilt: Je mehr Varianten man hat, je kundenspezifischer ein Produkt ist, desto früher muss in der

Kette der Produktionsprozesse kundenauftragsbezogen gefertigt werden und desto länger muss der Kunde warten. Eine eingeschränkte Aufhebung des Zielkonfliktes liegt darin, den Variantenentstehungspunkt möglichst spät im Produktionsfluss anzusetzen. In ähnlicher Weise sind flexible Bearbeitungsmaschinen zumeist in der Bearbeitung langsamer. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit zu steigern wird umso schwieriger, je mehr Werkzeuge erforderlich sind und je unterschiedlicher die Aufspannvorrichtungen sein müssen.

3. Variabilität & Qualität: konträrer Zielwiderspruch
Diese Konfliktlinie besagt, dass einerseits die Erhöhung der Variabilität die Einhaltung der Qualitätsziele erschwert sowie andererseits die Erhöhung der Qualitätsanforderungen zu einer Einschränkung in Varianz und Flexibilität führt. So führt beispielsweise die Erhöhung der Produktvielfalt durch kundenspezifische Anpasskonstruktionen zu einer ganz neuen Art des Risikos ungeplanter zeitlicher Verzögerungen. Dadurch kann die Liefertreue sinken, muss aber nicht. Hier aber besser sein zu wollen als im Seriengeschäft, ist ein sehr unglaubwürdiges Ziel. Qualitätsprobleme durch zu langsame oder fehlerhafte Konstruktionsanpassung können bei Katalogprodukten definitionsgemäß nicht vorkommen. Generell stellt eine größere Varianz höhere Anforderungen an die Produktion, die dann mit geringerer Teilequalität, ungenauerer Termineinhaltung oder verringerter Lieferfähigkeit antwortet. Eine eingeschränkte Aufhebung des Zielkonfliktes liegt darin, durch langsame Erhöhung der Anforderungen auf der einen Seite der anderen die Möglichkeit zu geben, sich mit zu verbessern, also nicht oder nur geringfügig zurückzufallen.

4. Variabilität & Wirtschaftlichkeit: Zielunterordnung
Diese Verbindungslinie besagt, dass es generell einfacher ist, Produktivität und Auslastung zu verbessern, als das Produktspektrum zu erweitern. Es ist generell betrachtet einfacher, bei einem Standardprodukt die Herstellkosten zu senken, als eine bestehende Produktion flexibler zu gestalten, um ein weit gefächertes Produktspektrum fertigen zu können. Eine bestehende Produktion wandlungsfähig zu machen, ist eine noch größere Herausforderung, da es bauliche und konstruktive Änderungen an den Betriebsmitteln erforderlich macht. Umgekehrt kann eine flexibler gestaltete Maschine zugleich auch besser ausgelastet sein als eine unflexible Maschine. Beide Zieldimensionen können demnach zugleich in höherem Grad erfüllt werden, liegen aber auf einem ganz anderen Niveau der Produktionsgestaltung. Zugleich stehen sie auch im Widerspruch, da eine zu hoch gewählte Flexibilität im Regelfall unwirtschaftlich ist.

5. Qualität & Geschwindigkeit: Zielunterordnung
Diese Verbindungslinie besagt, dass die Qualität in der Regel schwieriger zu steigern ist als die Geschwindigkeit. So kann man durch das Vorhalten von Lagerware die Lieferzeit generell sehr einfach minimieren. Dabei ist es dann die eigentliche Herausforderung, in jedem Fall liefertreu zu sein – und nicht alles auf Lager zu haben, außer eben der gerade gewünschten Variante. Ganz analog betrachtet ist es auch einfacher, schnell zu produzieren als in guter Produktqualität; oder durch Bestandssenkung die Produktionsdurchlaufzeit abzusenken, als immer lieferfähig zu bleiben. Entwickelt man aber ein gutes Konzept für den Produktionsablauf, dann kann man auch die Termintreue verbessern, indem man die Durchlaufzeit verkürzt. In ähnlicher Weise sind manche Produktionsprozesse qualitativ besser, wenn sie beschleunigt durchgeführt werden.

6. Wirtschaftlichkeit & Geschwindigkeit: Zielverträglichkeit
Diese Verbindungslinie besagt, dass Wirtschaftlichkeit und Geschwindigkeit in der Regel zugleich gesteigert werden können. Beispielsweise können durch eine Rüstzeitreduzierung bei leicht verringerten Losgrößen und dadurch entsprechend sinkenden Beständen zugleich die Durchlaufzeit verringert, die Maschinenauslastung erhöht und die Rüstkosten gesenkt werden. Eine verringerte Durchlaufzeit spart zwangsläufig die zugehörigen Bestandskosten ein. Beide Zieldimensionen sind also teilweise positiv korreliert.

Logisches Zielquadrat

Das hier vorgestellte logische Zielquadrat der Produktion zeigt, wie die vier Zieldimensionen einer Produktion in sechs unterschiedlich gearteten *Zielkonflikt*-Verhältnissen zueinander stehen. Die Verbesserung der einzelnen Ziele geht dabei nicht immer auf symmetrische Weise zu Lasten eines anderen Zieles; manche Ziele sind durchaus gleichzeitig verbesserbar.

Aufgabe der Produktionsoptimierung ist es, den Produktionsbetrieb an einem bestimmten Produktionsstandort mit seinem zugehörigen Produktspektrum hinsichtlich der vier Zieldimensionen so auszutarieren, dass der jeweils geeignete Zielerreichungsgrad realisiert wird.

In diesem Buch soll nun gezeigt werden, wie man eine optimale Produktion gestalten kann. Dazu werden mit der Methode des Wertstromdesigns Gestaltungsrichtlinien vorgeschlagen, die es erlauben, eine Produktion so zu gestalten, dass man die zugehörige Fabrik in einem auf spezifische Ziele bezogenen optimalen Betriebspunkt betreiben kann (Kap. 3). Zunächst aber muss die Produktion in ihrem jeweiligen Ist-Zustand erfasst werden,

damit der Ausgangspunkt für die Umgestaltung und/oder Neugestaltung der Produktion deutlich und in richtiger Weise vor Augen liegt. Ein ausgezeichnetes Hilfsmittel dazu ist die im Folgenden vorgestellte Wertstromanalyse (Kap. 2).

2 Wertstromanalyse

Das Lieblingsfeld deutscher Ingenieurskunst ist die detaillierte Optimierung der einzelnen Produktionsprozesse hinsichtlich Qualität, Zuverlässigkeit und Ausstoß. Das ist notwendig für den nachhaltigen Unternehmenserfolg, da hier das spezifische technologische Know-how erarbeitet und weiterentwickelt wird. Allerdings ist es im Wettbewerb nicht immer ausreichend, mit seiner technologischen Kernkompetenz weit vorne oder gar an der Spitze zu stehen. Auch das Zusammenwirken der jeweils optimierten Einzelprozesse untereinander ist erfolgsrelevant. Neben der technischen benötigt ein Unternehmen daher auch eine ablauforganisatorische Kompetenz. So können in einzelnen Produktionsprozessen erreichte Verbesserungen komplett verpuffen, wenn sie nicht mit Bezug auf den gesamten Produktionsablauf geplant und umgesetzt werden. Erst wenn alle Produktionsprozesse gut aufeinander abgestimmt und logistisch in geeigneter Weise verknüpft sind, kann ein Unternehmen erfolgreich sein. Die *Wertstromperspektive* nun richtet ihre Aufmerksamkeit gerade auf diesen übergeordneten Aspekt des Zusammenhangs der einzelnen Produktionsprozesse. Dadurch geraten erfolgskritische Aspekte der Produktion ins Blickfeld, die andernfalls übersehen werden.

Während also eine rein technologisch orientierte Sichtweise eine Produktion nur punktuell, nämlich in den einzelnen Produktionsprozessen, untersuchen kann, ist für die Betrachtung der Produktion im Ganzen eine am Produktionsablauf orientierte Sichtweise erforderlich. Genauso können auf Basis der jeweiligen Analyseergebnisse im ersten Fall nur punktuelle Verbesserungen erreicht werden, während erst die ganzheitliche Betrachtung auch eine Verbesserung des gesamten Produktionsablaufes ermöglicht. Letzteres aber ist entscheidend für den Erfolg, da punktuelle Meisterleistungen eine mäßige Gesamtleistung kaum verbessern können. Vielmehr gilt es, die Sichtweise umzukehren. Aus dem Gesamtablauf einer Produktion heraus müssen die *Anforderungen* an die Einzelprozesse abgeleitet werden. Dies ermöglicht die Wertstrommethode in überzeugender Weise.

Unabdingbare Voraussetzung für die Verbesserung einer Produktion ist die zielgerichtete Erfassung ihres Ist-Zustandes. Um den Ist-Zustand korrekt zu ermitteln, zielen sehr viele Analysemethoden auf eine *möglichst*

vollständige Datenerfassung ab. Diese Ansätze haben in der Regel den Nachteil, sehr aufwendig zu sein und einen höheren Genauigkeitsgrad vorzutäuschen, als die Aussagekraft ihrer Ergebnisse eigentlich zulässt. Außerdem leisten sie keine übersichtliche Darstellung der gesamten Produktion, sondern liefern eher in Graphen verdichtete Einzelergebnisse.

Ein anderer Weg, den Ist-Zustand einer Produktion korrekt zu ermitteln, besteht darin, eine *möglichst umfassende* Darstellung aller Produktionsabläufe zu erreichen. Dazu ist jedoch die Datenaufnahme gezielt zu vereinfachen. Differenzierte Datenanalysen werden so auf abgeschätzte Erfahrungswerte oder Durchschnittswerte verkürzt. Dadurch sinkt der für die Analyse erforderliche Aufwand enorm – und gleichzeitig steigt die Übersichtlichkeit und Aussagekraft des Ergebnisses. Zudem liegen die Analyseergebnisse aufgrund des reduzierten Aufwandes deutlich schneller vor. Werksanalysen, die andernfalls Wochen benötigt hätten, sind bereits nach einigen Tagen abgeschlossen. Alle diese Eigenschaften machen die *Wertstromanalyse* zu einem so herausragenden Analyseinstrument. Seine Anwendung soll in diesem Kapitel ausführlich beschrieben werden.

Die Wertstromanalyse ist *die* ausgezeichnete Methode, um den Ist-Zustand einer Produktion übersichtlich und umfassend darzustellen. Dies ist im Wesentlichen möglich durch die Berücksichtigung von Produktionsprozessen, Materialfluss und auch Informationsfluss sowie der Art und Weise, wie diese durch einfache Symbole visualisiert werden. Dieses Buch erweitert das bekannte Vorgehen der graphischen Darstellung mit Symbolen (Rother 2000) vor allem beim Informationsfluss und ergänzt es zudem durch einfache Methoden der Datenanalyse. Das steigert Anwendungsbereich und Aussagekraft noch einmal deutlich, ohne Aufwand und Schwierigkeit in der Anwendung nennenswert anzuheben.

Wertstromdarstellung

Um die Tätigkeiten des Produzierens in einer Fabrik möglichst umfassend abzubilden, ist eine geeignete *Modellierung* erforderlich. Ein solches Modell ist dann geeignet, wenn es einen Gegenstand vereinfacht und zweckmäßig wiedergibt. Genau dies leistet die Wertstrommethode auf effektive Weise. Die Modellierung des Wertstroms in einer Fabrik basiert auf *sechs Grundelementen*, die jeweils mit spezifischen Parametern beschrieben und der Art nach noch etwas ausdifferenziert werden können (Abb. 2.1):

1. ‚Produktionsprozesse' beschreiben die unmittelbar produzierenden Tätigkeiten in der Fabrik sowie bei externer Bearbeitung,
2. ‚Geschäftsprozesse' beschreiben die Aufgaben der Auftragsabwicklung inklusive der Produktionsplanung und –steuerung,

3. Der ‚Materialfluss' beschreibt den Transport der Materialien zwischen den Produktionsprozessen einschließlich der Bestände,
4. Der ‚Informationsfluss' beschreibt die transferierten Daten und Dokumente zwischen den Geschäftsprozessen und hin zu den Produktionsprozessen inklusive der Datenfrequenz,
5. Der ‚Kunde' bildet die von der Produktion abzudeckende Kundennachfrage ab und modelliert so die Systemlast,
6. Der ‚Lieferant' bildet die Versorgung der Produktion mit Rohmaterialien und Teilen ab.

Der Wertstrom nun fließt von den Lieferanten durch die Fabrik zu den Kunden, in der bildlichen Darstellung also von links nach rechts (Abb. 2.1). Flussabwärts liegende Produktionsprozesse liegen demnach näher am Kunden als die flussaufwärts befindlichen Prozesse. Die Geschäftsprozesse der Auftragsabwicklung, der physische Materialfluss in der Fabrik sowie der komplette Informationsfluss zu allen Produktionsprozessen bilden in Summe die gesamte Produktionslogistik einer Fabrik. Die *logistische Verknüpfung* zweier Produktionsprozesse bezeichnet den Materialfluss zwischen beiden Prozessen sowie die zugehörige Steuerungslogik. Auf übergeordneter Ebene kann man also zwischen Produktion und Logistik unterscheiden.

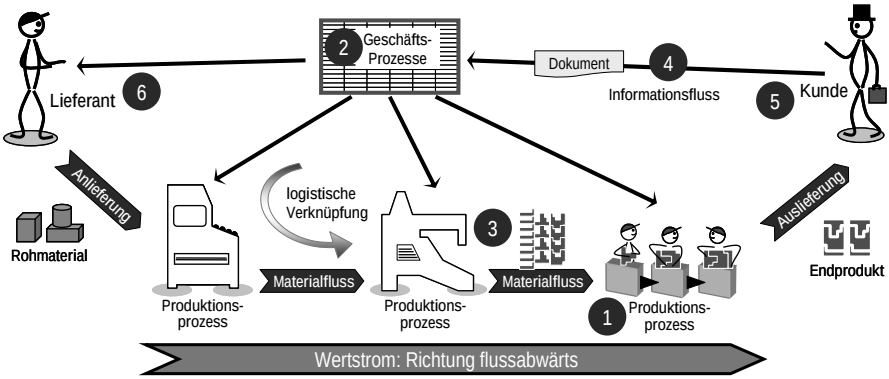


Abb. 2.1. Der Wertstrom in der Fabrik

Basierend auf der erläuterten Modellierung erlaubt die Wertstrommethode eine prägnante *Visualisierung* des Wertstroms. Jedes der sechs genannten Modellelemente wird durch einfache *Symbole* dargestellt. Da die Wertstromperspektive den Fokus auf die logistischen Verknüpfungen legt, werden diese je nach ihrer charakteristischen Ausprägung auch durch unterschiedliche Symbole dargestellt. So lassen sich typische Merkmale eines Produktionsablaufes auf einen Blick erkennen. Wichtige Besonder-

heiten können durch weitere selbsterklärende Symbole dargestellt werden. Die *Wertstromdarstellung* einer kompletten Produktion entspricht dann einer Zeichnung, die aus diesen Symbolen gebildet ist.

Die Abbildung einer Produktion mit einer einfachen Symbolik hat zwei entscheidende Vorzüge. Der erste liegt in der überaus kompakten Darstellung eines kompletten Analyseergebnisses. Der zweite liegt in der Art und Weise begründet, wie eine *Wertstromaufnahme* durchgeführt wird. Daraus ergeben sich im Einzelnen folgende Vorteile:

1. Die Einfachheit der Symbolik erlaubt es, die Wertstromdarstellung vor Ort in der Fabrik als Bleistiftskizze zu erstellen. So werden bei der Analyse die *tatsächlich* angetroffenen Verhältnisse – die faktische *Ist-Situation* – auf dem Shop Floor erfasst. Das ist ein deutlicher Unterschied zu einer fabrikfern durchgeführten Datenanalyse.
2. Die Visualisierung leistet eine übersichtliche Darstellung der kompletten Produktion. Die Visualisierung ist kompakt; sie ermöglicht in der Regel die Darstellung aller Produktionsabläufe von den Lieferanten bis zu den Kunden auf einem DIN A3-Blatt. Mit dieser übersichtlichen Darstellung erreicht der Anwender *Transparenz* über die Gegebenheiten in der Produktion. Dadurch wird zugleich der – gegebenenfalls unnötig hohe – *Komplexitätsgrad* des Produktionsablaufes deutlich dargestellt.
3. Die Art der Modellierung konzentriert den Blick auf wesentliche, in der Regel als Durchschnittswert erfasste *Kenndaten*, wie Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Bestände. Das strukturierte Vorgehen der Wertstromaufnahme verhindert, dass man sich bei der Analyse in unangemessen umfangreichen Datendetails verliert.
4. Ein zahlenmäßiges Analyseergebnis ist der Vergleich der Summe aller Bearbeitungszeiten mit der zum Bearbeiten benötigten Produktionsdurchlaufzeit. Die Differenz zeigt ein wesentliches *Verbesserungspotential* des Gesamtablaufs auf.
5. Die intuitiv verständliche Symbolik hilft bei der innerbetrieblichen Verständigung sowohl über die gegenwärtigen Produktionsabläufe mit ihren Schwachstellen, als auch über Lösungsansätze für die künftige Gestaltung der Produktion. Sie kann ferner als Basis dienen für die *Kommunikation* mit produktionsfremden Partnern über die Leistungsfähigkeit der Produktion, ihre Gestaltungsspielräume und die Anforderungen an sie.

Kundensicht

Zentrale Grundidee der Wertstromanalyse ist es, immer *Kundensicht* einzunehmen. Denn die Kundensicht bestimmt die Anforderungen an die Produktion im Ganzen sowie an jeden einzelnen Produktionsprozess. Die Kundensicht sollte ausgehend vom Versand Schritt für Schritt den Materialfluss entlang flussaufwärts an die Produktionsprozesse herangetragen werden. Eine Wertstromanalyse wird also nicht, wie sonst üblich, entlang des Materialflusses, also beginnend bei der Anlieferung beziehungsweise dem Wareneingangslager, durchgeführt. Der Gang flussabwärts erscheint intuitiv richtiger, vermutlich weil er das Ursache-Wirkungs-Schema des Produzierens nachbildet. Trotzdem hat das umgekehrte Vorgehen ausgehend vom Kunden, der eigentlichen Finalursache des Produzierens, zahlreiche Vorteile:

1. Die Produktion ist zur Erfüllung von Kundenwünschen da. Indem man bei der Analyse die Kundensicht einnimmt und den Materialfluss von hinten her aufrollt, kann man am besten die Kundenanforderungen in die Produktion tragen.
2. Der jeweils untersuchte Produktionsprozess ist Kunde eines vorgelagerten Lieferprozesses. Bei der Analyse trägt man so die jeweiligen Kundenerwartungen Schritt für Schritt durch die Produktion hindurch. Während man bei der umgekehrten Betrachtungsweise überlegt, wie der Kundenprozess mit den angelieferten Materialien am besten zurecht kommt, fragt man hier, wie der Lieferprozess sein muss, damit der Kundenprozess in idealer Weise bedient werden kann.
3. Jeder Wertstrom verzweigt sich flussaufwärts, sofern es sich um ein mehrteiliges oder montiertes Produkt handelt. Im Versand hat die Wertstromanalyse mit dem ausgewählten Fertigprodukt einen eindeutigen Startpunkt. Im Wareneingang hingegen kann man nicht qualifiziert entscheiden, welches Material oder welche Komponente man als Ausgangspunkt der Analyse nehmen möchte. Geht man flussaufwärts, kann man bei etwaigen Verzweigungen bewusst Prioritäten setzen. Im Wareneingang landen dann alle offenen Enden.
4. Die technische Frage nach dem *Wie?* – „Wie produziert man dieses Teil?“ – leitet bei der Wertstromanalyse wie ein Ariadne-Faden durch die Produktion. Für externe Besucher erlaubt diese Vorgehensweise ein erleichtertes Verständnis, da man vom jeweiligen Ergebnis eines Produktionsprozesses her leichter nach dem ‚Wie’ der Herstellungsweise fragen kann, da das ‚Wozu’ jeder technischen Bearbeitung ja bereits bekannt ist.

Vorgehensweise

Die *Durchführung* der Wertstromanalyse für ein produzierendes Unternehmen erfolgt in vier Schritten (Abb. 2.2).

1. **Produktfamilienbildung** Die Wertstromanalyse beginnt mit der methodischen Gliederung des gesamten Produktspektrums in Produktfamilien. Dabei werden die Produktfamilien so gebildet, dass aufgrund der Unterschiede im Produktionsablauf für jede Produktfamilie ein eigener Wertstrom aufzunehmen ist. Für die Erstanwendung der Methode in einem Unternehmen ist dann eine geeignete Produktfamilie auszuwählen (Abschn. 2.1).
2. **Kundenbedarfsanalyse** Anschließend erfolgt die Modellierung des Kundenbedarfs für die gewählte Produktfamilie. Geeignete Datenbasis sind hierbei die Verkaufszahlen des abgelaufenen Geschäftsjahres. Damit sind die vorbereitenden Tätigkeiten abgeschlossen (Abschn. 2.2).
3. **Wertstromaufnahme** Mit dem Rundgang durch die Fabrik erfolgt die eigentliche Wertstromaufnahme. Der Wertstrom wird im Ist-Zustand gezeichnet. Dabei werden alle wichtigen Kenndaten des Produktionsprozesses und der Logistik erfasst (Abschn. 2.3).
4. **Verbesserungspotentiale** Mit dem Verhältnis der Bearbeitungszeiten zur ermittelten Produktionsdurchlaufzeit sowie mit der Stimmigkeit der einzelnen Produktionsprozesse untereinander kann die Güte des erfassten Wertstroms beurteilt werden. Dies gibt abschließend einen Hinweis auf die Verbesserungspotentiale für den betrachteten Wertstrom (Abschn. 2.4).

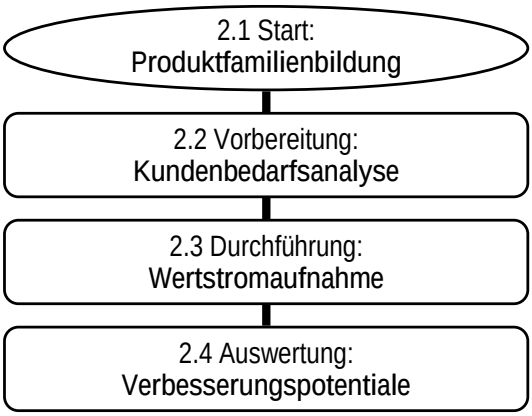


Abb. 2.2. Vorgehensweise bei der Wertstromanalyse

Wertstromanalyse zur Erfassung einer Produktion

Zielsetzung ist die effiziente Erfassung und übersichtliche Darstellung der in einer Fabrik tatsächlich bestehenden Gegebenheiten, um ein korrektes und umfassendes Verständnis der aktuellen Produktionsabläufe eines Werkes zu erlangen sowie Verbesserungspotentiale auszuweisen. Wesentlich ist hierbei die konsequente Einnahme der Kundensicht.

Vorgehen Die Analyse erfolgt als Momentaufnahme, die einen typischen Zustand in der Fabrik repräsentiert. In zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen werden in der Fabrik jeweils ausgehend vom Kunden zunächst der Produktionsfluss und dann der Auftragsfluss durch Befragen, Messen und Zählen erfasst. Der Wertstrom mit den wichtigsten Kennzahlen der Prozesse wird vor Ort per Hand skizziert. Der Zeitaufwand für die Anwendung der Methode ist gering.

Ergebnis ist die transparente und übersichtliche Darstellung eines kompletten Wertstroms mit Produktionsprozessen, Material- und Informationsfluss auf nur einem Blatt. Dabei wird ein Perspektivenwechsel von der Betrachtung einzelner Prozesse und Ressourcen auf die logistische Verknüpfung der Produktionsprozesse vollzogen.

Vorteile:

- Die Darstellung der gesamten Produktion gleichsam in der Vogelperspektive erschließt den Gesamtzusammenhang aller Prozesse und vermeidet Verengungen auf punktuelle Problembereiche.
- Die transparente Darstellung von technischen Prozessen, Material- und Informationsfluss mit allen jeweils wichtigen Kenndaten ermöglicht ein umfassendes Verständnis der Produktion, ohne dass dabei wichtige Aspekte ausgeblendet werden. Keine andere Methode zeigt die Produktionsprozesse und die sie steuernden Informationsflüsse im Zusammenhang.
- Der relativ grobe Detaillierungsgrad ermöglicht es, das Wesentliche zu sehen, ohne sich im Datenwust einer herkömmlichen Analyse zu verlieren.
- Die Verwendung definierter Symbole verbessert die innerbetriebliche Kommunikation über Verbesserungsvorschläge und Zielsetzungen, indem Wirkungen von bestehenden Zuständen sowie Auswirkungen von geplanten Veränderungen visualisiert werden.
- Die Wertstromdarstellung zeigt, wie gut die Prozesse zueinander und zum Kundenbedarf in ihrer Gestaltung und in ihrem Betrieb passen – und nicht, wie gut sie jeweils einzeln für sich erscheinen mögen, wenn man ihre Leistungsfähigkeit anhand ihrer Kennwerte unabhängig vom Gesamtzusammenhang beurteilt.

Fallbeispiel – Liquipur AG Viele Aspekte einer Methode lassen sich erst am Beispiel richtig verdeutlichen. Daher soll in diesem Buch die Wertstromanalyse begleitend zu den methodischen Erörterungen gleich an einem relativ einfachen Fallbeispiel durchgeführt werden. Dabei handelt es sich um ein fiktives Unternehmen mit dem aus dem lateinischen entlehnten Namen *Liquipur*. Am Standort Stuttgart entwickelt und produziert diese Aktiengesellschaft Filtersysteme für stationäre und mobile Anwendungen. Etwa 1.800 Mitarbeiter erwirtschaften einen Umsatz von knapp 300 Mio. Euro.

2.1 Produktfamilien

Bevor mit der eigentlichen Wertstromanalyse begonnen werden kann, muss festgelegt werden, auf welche Produkte sie sich beziehen soll. Ein Wertstrom bezieht sich im Prinzip immer auf die Verknüpfung aller Produktionsprozesse für genau ein Produkt. Ein anderes Produkt mag andere Wege durch die Produktion gehen oder zumindest andere Anforderungen an die gleichen Produktionsprozesse stellen und generiert dadurch seinen eigenen Wertstrom. Würde man komplexe Produktionen für Produkte mit unterschiedlichen Merkmalen als einen Wertstrom darstellen, dann könnte man nur wenig erkennen. Man hätte ein Netz überlagerter Verbindungen zwischen unterschiedlich relevanten Produktionsprozessen – und würde sich der Materialflussdarstellung einer Fabrik annähern, ohne jedoch die Flächenangaben eines Fabriklayouts zu erhalten.

Bei einem Großserienfertiger mit sehr wenigen Produkten kann jedes Produkt in der Wertstromanalyse einzeln betrachtet werden. Bei Variantenfertigern ist eine Betrachtung auf Einzelproduktebene jedoch nicht zielführend, da es ähnliche Produkte gibt, die mit ähnlichen Produktionsprozessen auf überwiegend gleichen Ressourcen produziert werden. Der Produktionsablauf dieser einander ähnlichen Produkte kann in einem einzigen Wertstrom dargestellt werden. Eine Wertstromanalyse beginnt also mit der Untergliederung des in einer Fabrik produzierten *Produktspektrums* nach produktionsrelevanten Ähnlichkeitskriterien. Ergebnis sind – im Unterschied zu den Produktgruppen des Vertriebs – die *Produktfamilien*. Für jede Produktfamilie ist dann eine eigene Wertstromdarstellung aufzunehmen.

Erste Aufgabe der Wertstromanalyse ist demnach die *Produktfamilienbildung*. Die Produktfamilie ist gewissermaßen ein Segment, das man aus einer Fabrik herausschneidet und für sich alleine betrachtet. Die Kunst des geschickt Analysierenden besteht nun darin, die Trennlinien so zu ziehen, dass bereits dadurch die Komplexität der verwobenen, sich überlagernden Produktionsabläufe in einem Werk reduziert wird. Gleichzeitig dürfen na-

türlich Prozesse, Teile und Produkte, die zusammengehören, nicht getrennt werden. Gemeinhin wird hierzu nun die simple Methode der *Produktfamilien-Matrix* empfohlen (Abschn. 2.1.1). Da sie jedes Produkt einzeln berücksichtigt, ist sie im Grunde eine Massendatenanalyse und eignet sich nur für die Serienfertigung. Daher soll hier ein Verfahren ausführlicher vorgestellt werden, das immer mit überschaubarem Aufwand anwendbar ist und außerdem viel besser zur Vorgehensweise der Wertstromanalyse passt, da es nicht gleich mit den Details der einzelnen Produkte beginnt (Abschn. 2.1.2). Bei diesem Verfahren werden ausgehend von allgemeinen Produktionsablaufschemata die Merkmale der *Familienähnlichkeit* explizit ermittelt. Daraus kann dann die Zuordnung der einzelnen Produkte abgeleitet werden.

Auswahl von Produktfamilien

Für die Durchführung der ersten Wertstromanalyse in einer Fabrik sollte man eine geeignete Produktfamilie auswählen. Das Pilotprojekt sollte nicht zu schwierig, aber auch nicht unwichtig sein. Deshalb bietet sich der Beginn mit einer möglichst stückzahlstarken und dabei relativ variantenarmen Produktfamilie mit nicht zu kleinem Umsatzanteil an. Vorteil hierbei ist der vergleichsweise einfache Einstieg in die Anwendung der Methode bei gleichzeitig großer Hebelwirkung der erzielten Verbesserungseffekte.

2.1.1 Die Produktfamilien-Matrix

Ein vermeintlich einfaches und sicheres Verfahren zur Bildung von Produktfamilien basiert auf der sogenannten *Produktfamilien-Matrix*. In dieser Matrix werden alle Produkte und die von ihnen durchlaufenen Prozessschritte erfasst. Anschließend gruppiert man die Produkte, die ähnliche oder gleiche Prozessschritte benötigen, zu Produktfamilien. Im Einzelnen geht man folgendermaßen vor:

1. Alle Produkte, identifiziert durch ihre jeweils unterschiedliche Artikelnummer, in den Zeilen der Matrix untereinander auftragen.
2. Alle Produktionsschritte, die für das gesamte Produktspektrum benötigt werden, in den Spalten der Matrix nebeneinander auftragen.
3. Alle Produktionsschritte, die zur Herstellung des jeweiligen Artikels erforderlich sind, im entsprechenden Feld in der Matrix mit einem Kreuz versehen.

4. Alle Produkte, bei denen diese Markierungen gleich gesetzt sind, die also die gleichen Produktionsschritte benötigen, gehören zu einer Produktfamilie.
5. Das Prinzip der *Ähnlichkeit* erlaubt es, auch Produkte mit ähnlichen Prozessabfolgen zu einer Produktfamilie zusammenzufassen.

Sehr vage muss hier das Kriterium der Ähnlichkeit bleiben. Welche Prozessabfolgen ähnlich genug zur Zusammenfassung sind, bleibt in das Ermessen des Anwenders gestellt. Auch die Festlegung der die Prozessabfolgen bildenden Prozessschritte ist Ermessenssache. Wählt man den gleichen Detaillierungsgrad wie bei den Produkten, dann sind alle Betriebsmittel einzeln zu berücksichtigen. Allenfalls nahezu identische Maschinen wären dann zusammenzufassen. Für die Produktfamilienbildung sind jedoch letztlich die Anforderungen an die Betriebsmittel entscheidend. So wird man beispielsweise alle Bearbeitungszentren mit ähnlichem Bauraum zusammenfassen, da sie Teile mit ähnlicher Geometrie am besten bearbeiten können. Die Produktionsschritte sind jedoch konkreter zu fassen als allgemeine Produktionsprozessbezeichnungen, wie beispielsweise ‚Fräsen', da sonst die unterschiedlichen Anforderungen an die Betriebsmittel bei der Gruppierung verloren gehen. Eine *Produktfamilie* im Sinne dieses Matrixverfahrens fasst also alle Produkte zusammen, deren Herstellung durch ähnliche Produktionsschritte erfolgt *und* bei denen überwiegend gleiche Betriebsmittel eingesetzt werden.

Artikel-Nummer	Bohren	Fräsen (vertikal)	Fräsen (horizontal)	Fräsen (kl. Bauraum)	Waschen	Härten	Vor-montieren 1	Vor-montieren 2	Vor-montieren 3	Montieren 1	Montieren 2	Montieren 3	
612680-20	x		x		x		x			x			PF 1
612842-20	x		x		x		x			x			
612682-20	x		x		x		x			x			
612682-23	x		x		x		x			x			
612861-10			x		x		x			x			
612684-10			x		x		x			x			
612685-10			x		x		x			x			
612839-20	x		x		x		x			x			
612234-10			x		x		x			x			
612688-10			x		x		x			x			
615386-10		x			x			x			x		PF 2 Bus-Ölfilter
615387-10		x			x			x			x		
615387-23		x			x			x			x		
615722-10		x			x			x			x		
615389-10			x		x	x			x			x	PF 3
612871-20			x		x	x			x			x	
615502-10			x		x	x			x			x	
615608-05			x		x	x						x	
615608-10			x		x	x						x	
615719-10				x	x				x			x	PF 4
612866-20				x	x				x			x	
615736-05				x	x				x			x	
...													

PF = Produktfamilie

Abb. 2.3. Ausschnitt aus der Produktfamilien-Matrix von Liquipur

Fallbeispiel Bei *Liquipur* existieren gut Tausend ‚lebende' Artikelnummern. Deshalb ist hier der Übersichtlichkeit halber nur ein Ausschnitt mit 22 Artikeln darge-

stellt (Abb. 2.3). Insgesamt werden hier zwölf Produktionsschritte unterschieden. Die Bearbeitungszentren und Fräsmaschinen sind in die drei Gruppen ‚Fräsen horizontal' ‚Fräsen vertikal' und ‚Fräsen mit kleinem Bauraum' zusammengefasst. In Vormontage und Montage gibt es jeweils drei unterschiedliche Arbeitsbereiche mit unterschiedlichen Vorrichtungen und anderen Mitarbeitern. Die Nummerierung der Montagebereiche dient dieser Unterscheidung, sie gibt keine Abfolge an. Die gezeigten Artikel sind in vier Produktfamilien zusammengefasst. Der Betriebsinterne erkennt in der Produktfamilie 2 die vier Varianten der von Liquipur produzierten Ölfilter für Busse. Zu Produktfamilie 1 gehören Artikeln mit und ohne Bohren; hier sind also ähnliche Prozessabfolgen zusammengefasst. Nicht erkennbar ist allerdings, dass bei Produktfamilie 3 nach dem Härten noch ein zweiter Fräsprozess auf den gleichen Betriebsmitteln wie vor dem Härten erfolgt.

Das beschriebene Vorgehen ist sehr arbeitsaufwendig, wenn bei einem komplexen Produktspektrum sehr viele Artikelnummern zu unterscheiden sind. Bei mehreren tausend Artikeln besteht dann das Risiko, den Überblick zu verlieren beziehungsweise erst gar nicht zu gewinnen. Schließlich ist nicht von vornherein klar, welche Ablauffolgen als ähnlich anzusehen sind. Ferner kann die eigentliche Abfolge, das heißt die Reihenfolge der Prozessschritte, nur bedingt dargestellt werden. In einer Tabelle mag es sehr viele Zusammenstellungen geben, die nicht alle gleichermaßen zur produktionsorientierten Untergliederung des Produktspektrums geeignet sind. Ein zentraler Nachteil dieses Vorgehens ist also, dass in der Produktfamilien-Matrix die Kriterien der Ähnlichkeit nicht explizit formuliert werden können. Sie verstecken sich gewissermaßen hinter der Definition der Prozessschritte sowie der Akzeptanz abweichender Kreuze innerhalb einer Produktfamilie. Wenn aber nicht explizit nach den Kriterien gefragt wird, können sich leicht Fehler einschleichen. Um dies zu vermeiden, soll im Folgenden ein anderes Vorgehen zur Produktfamilienbildung vorgestellt werden.

2.1.2 Produktionsablauf und Familienähnlichkeit

Das zuvor erläuterte Matrixverfahren gruppiert *bottom-up* von den einzelnen Produkten und Betriebsmitteln hoch zu den Produktfamilien. Beim im Folgenden erläuterten Familienähnlichkeitsverfahren werden die Produktfamilien in umgedrehter Herangehensweise *top-down* abgeleitet. Ausgangspunkt ist im ersten Schritt die funktionale Modellierung der Produktionsfolgen mit Produktionsablaufschemata. Anschließend erfolgt deren Spezifizierung und Aufteilung mit Hilfe von produkt- und teilebezogenen Merkmalen, die die Anforderungen an die Betriebsmittel konkretisieren. Je nach Breite des Produktspektrums wird man dabei unterschiedlich detailliert vorgehen.

Produktionsablauf

Im ersten Schritt werden die innerhalb des gesamten Produktspektrums vorkommenden Abfolgen von Produktionsprozessen jeweils als ein *Produktionsablaufschema* modelliert. Hier kann noch allgemein auf Produktionsprozessebene und ressourcenunabhängig formuliert werden, weil diese Spezifikationen erst im zweiten Schritt zu berücksichtigen sind. Damit sind die Elemente des Ablaufschemas allgemeiner als die Produktionsschritte der Matrix. Es werden alle in einer Fabrik vorliegenden Ablaufschemata ermittelt. Zielsetzung dieses ersten Schrittes ist es, in einer Überblicksdarstellung die wesentlichen Unterschiede in den Produktionsabfolgen herauszuarbeiten. Entscheidet man sich, zunächst nur eine besonders wichtige Produktionsabfolge aufzunehmen, dann kann man die den anderen Abfolgen zuzuordnenden Artikel aus der Analyse ausblenden.

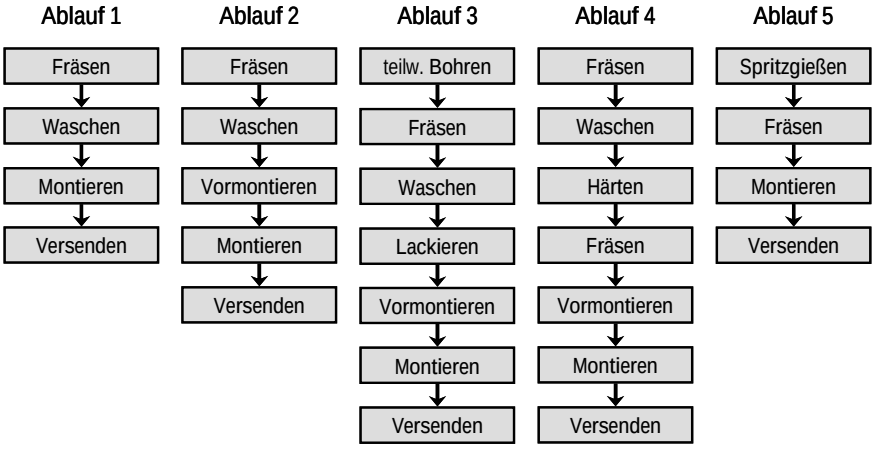


Abb. 2.4. Produktionsablaufschemata bei Liquipur

Fallbeispiel Bei *Liquipur* können fünf Produktionsablaufschemata ganz unterschiedlicher Komplexität identifiziert werden (Abb. 2.4). Im ersten, sehr einfachen Ablauf finden sich Ölfilter für Pkws; der zweite Ablauf umfasst unter anderem Ölfilter mit Gehäusen für Busse und Lkws. Dem dritten Ablauf sind beispielsweise Hydraulikfilter zuzuordnen. Da der erste Produktionsprozess, das Bohren, eher eine untergeordnete Bedeutung hat, werden beide Abläufe nicht unterschieden. Im vierten Ablauf erfolgt zweimaliges Fräsen. Der fünfte Ablauf schließlich gilt für Filtersysteme mit Kunststoffgehäusen.

Familienähnlichkeit

Durch die Produktionsablaufschemata sind die jeweils grundsätzlich erforderlichen Technologien festgelegt. In Abhängigkeit vom zu produzieren-

den Produkt können sich die Anforderungen an die Technologien innerhalb eines Produktionsablaufes deutlich unterscheiden. Die *Kriterien* zur Aufgliederung der Produktionsabläufe können aus der hier wiedergegebenen Auswahlliste relevanter Merkmale ausgewählt werden (Abb. 2.5).

Die Untergliederung der Ablaufschemata in Produktfamilien erfolgt mit diesen produktionsrelevanten Produktmerkmalen beziehungsweise den Anforderungen der verwendeten Rohmaterialien und Teile. So sind beispielsweise auch bei ansonsten gleichen Produktionsabläufen beim Drehen Aluminium-, Stahl- und kohlenfaserverstärkte Verbundwerkstoffe zu unterscheiden. Die unterschiedlich einfache Handhabbarkeit der Teile stellt insbesondere in der Montage spezifische Anforderungen, die eine Einordnung in verschiedene Produktfamilien rechtfertigen können. Weitere typische Kriterien zur Abgrenzung resultieren aus Geometrie, Komplexität oder Funktionalität der Produkte. Produktfamilien werden dann gebildet nach Kriterien wie Abmessungen als Anforderung an die Baugröße der Fräsmaschinen, Volumen der Spritzgussteile als Anforderung an das Schussgewicht der Spritzgussmaschinen, Anzahl montierter Teile als Anforderung an eine logistikorientierte Montagegestaltung und vieles andere mehr.

Hauptmerkmale	Unterkriterien
Rohmaterial Teile	Prozessanforderung (Schmiermittel, Werkzeuge, Kontamination, ...)
	Haltbarkeit
Produkt-Geometrie	Gewicht
	Volumen oder größte Abmessung
	Kundenspezifik (standardisiert, parametrisiert, freie Form)
Produkt-Komplexität	Anzahl montierter Teile
	Summe Arbeitsinhalt
	Änderungshäufigkeit der Teile
Produkt-Funktionalität	Kundenspezifik (Standard, Optionen, Anpassungskonstruktion)
	Anzahl möglicher Varianten
	Prüfanforderungen
Handhabung	Handhabbarkeit der Produkte und Teile
	Schutzbedürftigkeit einiger Teile (Oberfläche, Reinheit, ...)
	Wert der Teile (Bestandsführung, Diebstahlschutz)

Abb. 2.5. Typische Produkt- und Teilemerkmale zur Beschreibung der Familienähnlichkeit

Sehr häufig ist es auch so, dass sich die Produktionsabfolgen im gesamten Produktspektrum nur sehr wenig unterscheiden. So findet sich in der Elektronikfertigung eine wiederholte Abfolge von Bestückung mit Bauteilen und Löten beziehungsweise Kleben, entweder auf Bestückungsautomaten oder an Handarbeitsplätzen. Nach Produktionsprozessen und auch Be-

triebsmitteln können hier nur eingeschränkt Produktfamilien unterschieden werden; das Matrixverfahren findet hier keinen Ansatzpunkt. Eine Produktfamilienbildung kann jedoch sehr gut auf den Produktmerkmalen aufsetzen, wie Art oder Anzahl der benötigten Baugruppen, der Platinengröße oder auch der Baugröße des schließlich montierten Endgeräts.

Fallbeispiel Bei der Untergliederung des Produktionsablaufs 2 bei *Liquipur* in drei Produktfamilien spielen die Kriterien Rohmaterial und Produktkomplexität eine Rolle (Abb. 2.6). Die erste Unterscheidung betrifft das Material der bearbeiteten Teile. Um Schmierstoffe und Späne getrennt zu halten sowie aufgrund der Werkzeugökonomie sollten die Stahlgussteile auf anderen Maschinen bearbeitet werden als die sonst eingesetzten Aluminiumdruckgussteile. Bei letzteren gibt es wiederum Teile, die bei der gegebenen Teilegeometrie und den vorhandenen Betriebsmitteln zwei Aufspannungen erfordern. Bei der Produktfamilie 2 handelt es sich wieder um die Produktfamilie der Ölfilter für Busse (Abb. 2.3). Es ist jedoch keineswegs so, dass sich immer die gleichen Produktfamilien bilden.

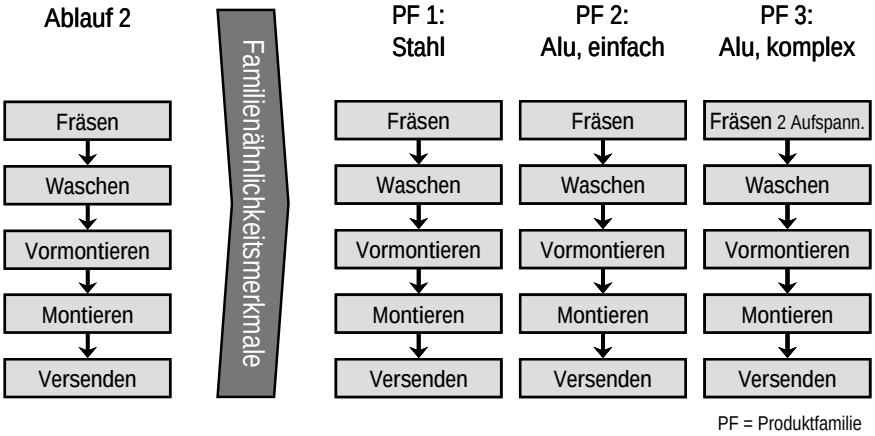


Abb. 2.6. Aufteilung eines Produktionsablaufschemas in drei Produktfamilien bei Liquipur

Die *Familienähnlichkeit* einer Produktfamilie ist bestimmt durch produktionsrelevante Merkmale der Produkte und Teile, die als Gliederungskriterien fungieren. Diese Kriterien sollten so eindeutig formuliert sein, dass Neuprodukte einfach einer Produktfamilie zuzuordnen sind – oder aber aus nachvollziehbaren Gründen eine neue Produktfamilie konstituieren.

Innerhalb einer Produktfamilie spricht man dann von *Varianten*, die im Rahmen der Wertstromanalyse alle weitestgehend gleich zu behandeln sind. Bei der Wertstromaufnahme konzentriert man sich dann auf einen bestimmten Artikel, der dann die Produktfamilie im Ganzen vertritt. Für

diesen *Repräsentanten* werden dann die Produktionsprozesse mit den zugehörigen Zeiten und anderen Kennwerten beschrieben. Der jeweilige Repräsentant sollte die typischen Eigenschaften einer Produktfamilie sowie einen nennenswerten Stückzahlanteil aufweisen. Falls sich die Varianten in einzelnen Hinsichten zu deutlich unterscheiden, kann alternativ auch die jeweilige Bandbreite der variantenspezifischen Parameter angegeben werden.

Wichtige Aspekte der Produktfamilienbildung

Zielsetzung ist eine transparente Gliederung des Produktspektrums nach den Anforderungen der Produktion.

Vorgehen Die Bildung einer Produktfamilie erfolgt top-down in zwei Schritten: Zunächst sind entsprechend der benötigen Produktionsprozesse sowie ihrer Abfolge Produktionsablaufschemata zu bilden. Danach sind mit spezifischen Merkmalen der Rohmaterialien, Teile und Produkte die gebildeten Produktionsabläufe so weit zu untergliedern, bis daraus einheitliche Anforderungen an die Betriebsmittel abgeleitet werden können. Ferner ist zu beachten:

- Die Definition einer Produktfamilie ist schriftlich festzuhalten.
- Innerhalb einer Produktfamilie werden alle Varianten so behandelt, als wären sie das gleiche Produkt.
- Ein für die Produktfamilie typisches Produkt fungiert als *Repräsentant* und ermöglicht so die Behandlung von konkreten Einzelfragen nach Zeiten, Abmessungen und anderen produktbezogenen Parametern. Die jeweiligen Erkenntnisse werden auf die anderen Produkte innerhalb der Familie übertragen.

Ergebnis sind Produktfamilien, die homogene technologische Anforderungen stellen.

Wenn eine Produktfamilie schließlich in ihren konstitutiven Merkmalen beschrieben ist, kann man sich dem Kundenbedarf für die entsprechenden Produkte zuwenden.

2.2 Kundenbedarf

Zielsetzung des Wertstromdesigns ist es, eine am Kundenbedarf orientierte Produktion zu erreichen. Dazu wird bereits in der Analyse die Kundenperspektive eingenommen. Und daher ist nach Festlegung der betrachteten Produktfamilie das erste im Rahmen der Wertstromanalyse zu erfassende

Element der *Kunde*. Als Konsument erhält er als Symbol ein Haus (Abb. 2.7). Unter dem Kundensymbol sind in einem Datenkasten alle wichtigen Informationen eingetragen, die zur Ableitung der Belastung für die Produktion, berechnet im Kundentakt, erforderlich sind (Abschn. 2.2.1). Fallweise kann es sinnvoll sein, die einfach ermittelte Durchschnittsbelastung noch durch eine Analyse der Schwankungsbreite des Kundenbedarfs zu ergänzen (Abschn. 2.2.2).

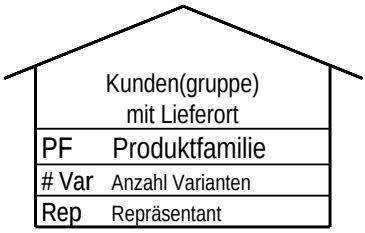


Abb. 2.7. Das Kundensymbol

In das *Kundensymbol* (Abb. 2.7) einzutragen ist neben der Kundengruppe die Bezeichnung der betrachteten Produktfamilie (PF). Die Anzahl der Varianten gibt an, wie heterogen die betrachtete Produktfamilie womöglich ist. Die Aussagekraft der Wertstromanalyse basiert auf geschickt gewählten Vereinfachungen. Daher wird nicht jede Artikelnummer einzeln betrachtet, sondern die Variantenvielfalt einer Produktfamilie an Hand eines konkreten, für diese Familie typischen Produktes. Auf diesen Repräsentanten beziehen sich die später in der Wertstromaufnahme ermittelten Kenndaten.

Natürlich kann der Kunde wiederum eine Fabrik sein, in der das betrachtete Produkt weiterverarbeitet wird. Dies ist der Regelfall in der Zuliefererindustrie, während die Konsumgüterindustrie meist direkt Händler oder Handwerksbetriebe beliefert. Im einfachsten Fall gibt es für die Produktfamilie einen Großkunden, der namentlich und mit Lieferadresse festgehalten werden kann. Die Zahl der Kunden erhöht sich mit zunehmender Varianz oder Kundenspezifik der Produkte deutlich. Unterschiedliche Kunden stellen meist unterschiedliche *Lieferanforderungen* hinsichtlich Versandart, Transportmittel, Verpackung, Gebindemenge, Lieferzeit oder Lieferqualität (geduldeter Verzug sowie erlaubte Unterlieferung). Vieles ist von der geographischen Lage abhängig, so das Transportmittel oder die Verpackungsart – beispielsweise Holzkisten für den Übersee-Versand oder Behälterkreislauf im näheren Umfeld mit entsprechenden Anforderungen an die werksinterne Logistik. Die Versandmodalitäten ab Werk / frei Haus sowie die Größe einer Lieferung haben einen Einfluss darauf, ob Selbstabholer, eigen- oder fremdbeauftragte Speditionen, Paketdienste oder eigene

Firmen-Lkws mit Tourenplan den Transport übernehmen – und auf Grund der unterschiedlich verteilten Verantwortlichkeiten sowie der Einengung auf bestimmte Versand-Wochentage ganz andere Anforderungen an Terminierung und Versandlager stellen. Die Lieferanforderungen sind schließlich drastisch abhängig von der Verwendungsweise des Produktes durch den Kunden – ob also beispielsweise einer Produktion Just in Sequence zugeliefert wird oder lediglich das Lager einer Vertriebstochtergesellschaft aufzufüllen ist.

Alle genannten versandlogistischen Anforderungen der Kunden können eine stark prägende Auswirkung auf die richtige Gestaltung des Produktionsablaufes haben. Daher kann es durchaus erforderlich sein, innerhalb einer Produktfamilie zusätzlich *Kundengruppen* zu unterscheiden, die ähnliche Produkte zu ganz unterschiedlichen Konditionen ordern. Für jede dieser Kundengruppen ist dann ein eigenes Kundensymbol vorzusehen.

2.2.1 Kundentakt

Der Kundenbedarf einer Produktfamilie wird unterhalb des Kundensymbols in einem eigenen Datenkasten notiert (Abb. 2.8). Angegeben wird normalerweise die Jahresabsatzmenge des zurückliegenden Geschäftsjahres als Jahresstückzahl (Stck). Hier können natürlich auch anderer Bezugsperioden gewählt werden. Der Jahreshorizont hat jedoch den Vorteil, saisonale Schwankungen automatisch abzudecken. Setzt man hier Planzahlen für das kommende Jahr ein, dann zeigt das Analyseergebnis, ob die Produktion auf die künftigen Anforderungen passend eingerichtet ist. Wenn mehrere Kundengruppen unterschieden werden, dann ist auch die entsprechende prozentuale Aufteilung anzugeben.

Stck	Jahresstückzahl
KdGr	Anteil [%]
FT	Fabriktage
AZ	Arbeitszeit
KT	Kundentakt

Abb. 2.8. Der Datenkasten zum Kundensymbol

Es ist allgemein üblich, beispielsweise mit der täglich oder monatlich verkaufen Menge Auskunft über die Leistungsfähigkeit einer Produktion zu geben. Diese Zahlen lassen sich sehr einfach aus der Jahresstückzahl ermitteln, wenn man sie durch die Arbeitstage pro Jahr laut Fabrikkalender (Fabriktage FT) sowie die täglichen effektiven Arbeitsstunden der Produktionsprozesse – also bei manuellen Prozessen die Anwesendheitszeit abzüglich der Pausen – dividiert (Arbeitszeit AZ).

Diese Betrachtungsweise hat allerdings einen entscheidenden Nachteil: sie trifft keine unmittelbare Aussage darüber, in welchem Tempo man arbeiten sollte, um dem durchschnittlichen Kundenbedarf zu entsprechen. Indem man den Kehrwert der Produktionsmenge pro Zeiteinheit bildet, erhält man nun aber genau diese Aussage. Ergebnis ist eine Produktionsrate in Zeitdauer pro Stück für die Produktion, die direkt auf der durchschnittlichen Verkaufsrate beruht. Diese Produktionsrate heißt *Kundentakt* (KT). Der Kundentakt errechnet sich wie folgt (Gl. 2.1). Er wird immer kundengruppenübergreifend angegeben.

$$KT = \frac{\text{verfügbare Betriebszeit pro Jahr}}{\text{Kundenbedarf pro Jahr}} = \frac{FT \times AZ}{Stck} \tag{2.1}$$

mit: KT Kundentakt [min./Stck.]
FT Fabriktage [d/a]
AZ tägliche Arbeitszeit [min.]
Stck Jahresstückzahl [Stck./a]

So mathematisch simpel diese Operation ist, so selten wird sie erfahrungsgemäß in der Praxis durchgeführt. Die Kenntnis des Kundentaktes jedoch hilft bei der Abstimmung des Produktionsrhythmus auf den Verkaufsrhythmus. Der Kundentakt ist die vom Markt vorgegebene Schlagzahl, mit der die Produktion idealer Weise arbeitet. Wenn jeder an der Auftragsabwicklung beteiligte Prozess im Unternehmen genau in diesem Rhythmus arbeitet, dann entspricht das Unternehmen exakt den Marktanforderungen, das heißt die Produktion ist kundenorientiert ausgerichtet. Das gilt dann natürlich einerseits nur im Durchschnitt, das heißt bei exakt gleichmäßiger Nachfrage, und ist andererseits aufgrund technischer und organisatorischer Restriktionen wohl kaum durchgängig zu erreichen. Als Orientierungshilfe für die Gestaltung und Auslegung der Produktion und auch der Auftragsabwicklung ist der Kundentakt aber kaum zu unterschätzen. Er wird daher zum Abschluss der Kundenmodellierung in den Datenkasten unter dem Kundensymbol eingetragen.

Der Kundentakt trägt ‚Marktgefühl' in die Produktion, indem er den Kundenbedarf im zeitlichen Rhythmus des Produzierens unmittelbar sichtbar macht. Im Unterschied dazu lässt die prognosebasierte Lagerfertigung mit rüstzeitoptimierten Losgrößen kaum Rückschlüsse auf den Kundenbedarf zu meist sehr intransparent. Wegen der vielen Bestände mit unterschiedlichen Reichweiten und der Planaufträge in unterschiedlichen Mengen ist auf dem Shop Floor nicht zu erkennen, ob man bezüglich der Kundennachfrage zu schnell oder zu langsam produziert. Auch sind ja die großen Pausen zwischen den Losen auf dem Shop Floor nicht sichtbar, der entsprechende Bedarf ‚verschwindet' dann. Nur eine Datenabfrage im

ERP-System erlaubt dann eine Auskunft darüber, ob die Produktion den Kundenbedarf deckt oder nicht – sofern die Daten gepflegt sind.

Fallbeispiel Die *Liquipur AG* möchte zunächst Produktfamilie 2, das sind die Ölfilter für Busse, in einer Wertstromanalyse näher untersuchen. Die Ölfilter werden in vier Varianten für zwölf Werke unterschiedlicher Kunden in einer Jahresstückzahl von 192.000 produziert. Die Stückzahlen der vier Varianten betragen 96.000, 58.000, 30.000 und 8.000. Die gesamte Produktion arbeitet im Dreischichtbetrieb mit einer Stunde Pause je Schicht an 240 Tagen im Jahr. Die Fräsmaschinen laufen auch während der Pausen. Daraus ergeben sich nach Gl. 2.1 folgende zwei unterschiedliche Kundentakte (KT) für manuelle und automatische Betriebsmittel:

$$KT_{man} = \frac{FT \times AZ}{Stck} = \frac{240d \times 21h}{192.000} = 94{,}5\text{sec.} \qquad KT_{aut} = \frac{240d \times 24h}{192.000} = 108\text{sec.} \qquad (2.2)$$

Die maximale Ausbringung der Fräsmaschinen kann hier also etwas geringer sein, als wenn ständig ein Mitarbeiter für die Teilezufuhr oder Teileentnahme sorgen müsste. Bezogen auf die manuellen Tätigkeiten muss etwa alle eineinhalb Minuten ein Ölfilter fertiggestellt werden, um den Kundenbedarf zu decken.

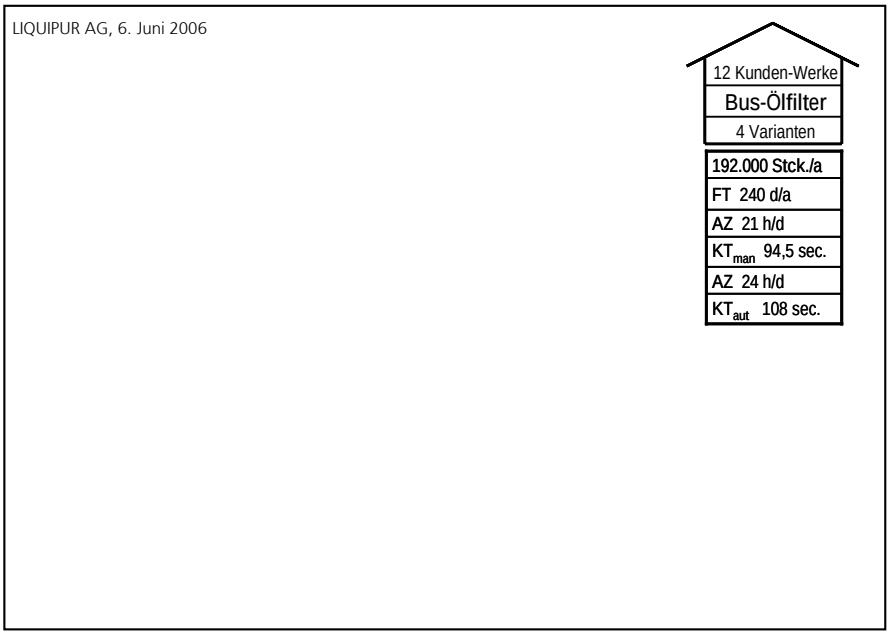


Abb. 2.9. Wertstromaufnahme bei Liquipur (1): Kundenbedarf

Die Wertstromaufnahme beginnt mit Einzeichnung des Kundensymbols in der rechten oberen Ecke auf einem *datierten* DIN A3-Blatt (Abb. 2.9). Damit ist die Vorbereitung im Besprechungsraum abgeschlossen und der Rundgang in der Fabrik zur Aufnahme der Produktionsprozesse kann be-

ginnen (Abschn. 2.3). Zunächst jedoch noch ein Blick auf die Kundenbedarfsschwankungen.

2.2.2 Kundenbedarfsschwankungen

Der Kundentakt bietet eine einfache Durchschnittsbetrachtung für den Kundenbedarf. So erhält man schnell einen qualifizierten Überblick, ohne in Massendaten gleichsam unterzugehen. Der Leistungstakt, den eine Fabrik zu erfüllen hat, steht damit fest. Der Kundenauftragseingang schwankt allerdings zuweilen beträchtlich. Diese *Kundenbedarfsschwankungen* bestimmen vom Kundentakt ausgehend den Flexibilitätskorridor, den eine Produktion abdecken können sollte. Die folgenden Überlegungen sollen zeigen, wie man die zusätzliche Flexibilitätsanforderung an die Produktion relativ aufwandsarm und zuverlässig ermitteln kann. Reduzieren lassen sich die Flexibilitätsanforderungen durch Bestände, die die Bedarfsschwankungen teilweise abdecken.

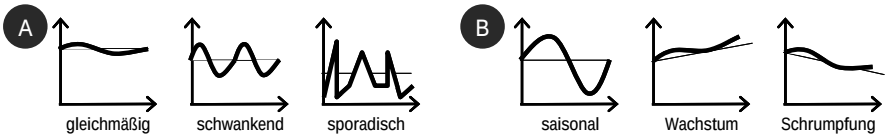


Abb. 2.10. Sechs Typen der Kundenbedarfsschwankung

Die Schwankungen im Kundenbedarf sind eine von vielerlei Faktoren abhängige Erfahrungsgröße. Der Vertrieb kann das Bestellverhalten der Kunden beispielsweise über zeitlich befristete oder mengenabhängige Rabatte beeinflussen – und so aus Produktionssicht die Schwankungsbreiten ungünstig vergrößern. Umgekehrt kann er bei Ausschöpfung der Freiheitsgrade in den Vertragsverhandlungen die jeweilige Kapazitätsauslastung berücksichtigen. Ergebnis ist eine *kurzfristig* mehr oder weniger stark zwischen gleichmäßig und sporadisch schwankende Nachfrage (Abb. 2.10, Fälle A). Dem können sich dann zusätzlich noch *mittelfristige* Tendenzen überlagern. Das können einerseits regelmäßige saisonale Schwankungen sein, die häufig sehr hohe Anforderungen an die Flexibilität einer Produktion stellen. Und es können andererseits konjunkturelle Schwankungen sowie tendentielle Entwicklungen mit Stückzahlwachstum beziehungsweise Stückzahlrückgang bei den entsprechenden Markttendenzen sein (Abb. 2.10, Fälle B).

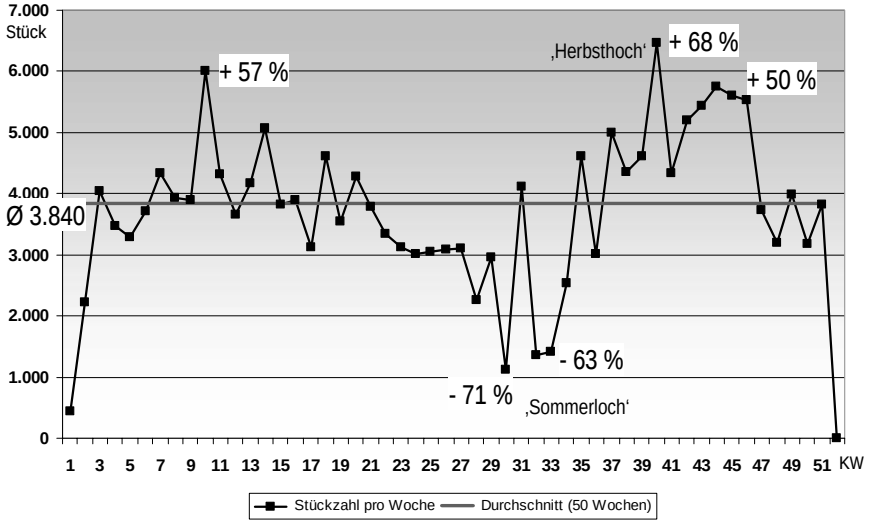


Abb. 2.11. Wöchentlicher Kundenbedarf bei der Liquipur

Fallbeispiel *Liquipur* hat im betrachteten Geschäftsjahr 192.000 Stück Ölfilter verkauft. Zieht man die zwei Wochen um den Jahreswechsel herum ab, sind dies durchschnittlich 3.840 Stück pro Woche. Wie der Jahresverlauf zeigt, ist die Nachfrage weit davon entfernt, gleichmäßig zu sein (Abb. 2.11). Es gibt ein ausgeprägtes Sommerloch mit bis zu 71 Prozent Mindermengen sowie Umsatzhochs vor allem im Herbst, die in drei Wochen ein Plus von mindestens 50 Prozent ausmachen und in weiteren drei Wochen zumindest ein Plus von über 40 Prozent. Der Korridor, den eine Produktion abdecken muss, liegt damit zwischen +68 % (6.468 Stück) und -71 % (1.116 Stück) auf Wochenbasis. Dies alleine durch Kapazitätsflexibilität zu realisieren, würde hohe Anforderungen an die Umsetzung stellen und auch entsprechende Überkapazitäten bedeuten.

Ergänzend betrachtet sei daher noch der kumulierte *theoretische Bestandsverlauf*. Der Verlauf basiert auf der fiktiven Annahme, dass in jeder Woche exakt der Durchschnittsbedarf produziert und der jeweilige Kundenbedarf termingerecht ausgeliefert wird. Die Produktion ist in diesem Fall völlig unflexibel hinsichtlich der Menge. Dadurch ergibt sich für jede Woche ein positives oder negatives Mengensaldo, das mit dem der Folgewoche verrechnet wird. So kumulieren sich über das Jahr hinweg die Kundenbedarfsschwankungen. Dieser rechnerisch ermittelte Bestand bei gleichmäßiger Durchschnittsproduktion darf – diese Freiheit erlaubt uns die Mathematik – auch ins Negative laufen. Dann befindet sich die Produktion im Rückstand.

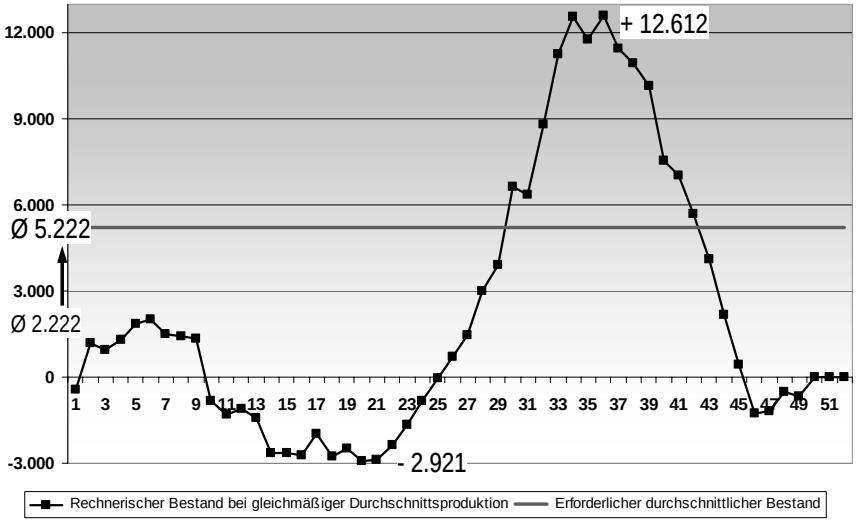


Abb. 2.12. Theoretischer Bestandsverlauf bei der Liquipur

Fallbeispiel Bei *Liquipur* führt der Nachfrageüberhang im ersten Halbjahr zu einer Fehlmenge von maximal 2.921 Stück (Abb. 2.12). Im Sommerloch wird eine Bestandsspitze von bis zu 12.612 Stück angearbeitet, die die Nachfragespitze im Herbst deckt. Der durchschnittliche rechnerische Bestand beträgt hier 2.222 Stück. Wenn man, wie unter Realbedingungen allgemein üblich, keine Negativbestände zulässt, benötigt man im Beispiel einen Anfangsbestand von rund 3.000 Stück. Der erforderliche durchschnittliche Bestand, um ohne Kapazitätsflexibilität allen Lieferverpflichtungen nachzukommen, liegt dann bei 5.222 Stück, was einer durchschnittlichen Lagerreichweite von 6,5 Arbeitstagen entspricht. Der Maximalbestand liegt dementsprechend bei etwa 15.600 Stück, was einer maximalen Lagerreichweite von etwa einem Monat entspricht. Nicht berücksichtigt wurde hier allerdings der bestandserhöhende Einfluss der Produktvarianz auf die Lagerhaltung.

Insgesamt lassen sich drei Lösungsansätze unterscheiden, mit denen – auch in Kombination – Kundenbedarfsschwankungen flexibel abgedeckt werden können:

1. Erstens kann erhöhter Bedarf durch Lagerhaltung ausgeglichen werden. Die Produktion wird dann vom aktuellen Kundenbedarf gewissermaßen abgekoppelt und erhält einen geglätteten Bedarf. Dies ist die idealtypische Lösung der variantenarmen Produktion, wie sie auch für die Liquipur AG geeignet wäre.
2. Zweitens kann das Kapazitätsangebot variiert werden, indem beispielsweise Überstunden gefahren, Mitarbeiter aus anderen, weniger

belasteten Bereichen eingesetzt oder kurzfristig Zeitarbeiter eingestellt werden.
3. Drittens können Liefertermine verschoben werden; die Lieferzeit ist dann von der jeweiligen Nachfrage abhängig. Dieser Lösungsansatz ist oft unumgänglich bei kundenspezifischer Produktion, da hier eine Lagerhaltung ausgeschlossen ist. In allen anderen Fällen ist die Terminverschiebung erforderlich, wenn der geplante Flexibilitätskorridor bei Kapazitäten oder Beständen durch starke Bedarfsausschläge überschritten wird.

Kundenbedarf

Der Kundenbedarf wird bei der Wertstromanalyse durch den *Kundentakt* ausgedrückt. Dieser aus dem durchschnittlichen Stückbedarf abgeleitete Wert bringt Rhythmus in die Produktion.

Kundenbedarfsschwankungen machen Lagerhaltung oder eine kapazitätsflexible Produktion notwendig. Die auf den Durchschnittswert des Kundentaktes bezogene Schwankungsbreite entnimmt man entweder einer Datenanalyse oder legt sie als Zielwert fest. Der *Flexibilitätskorridor* der Produktion ist entsprechend einzustellen. Bei darüber hinausgehenden Bedarfsschwankungen kann der Kundenwunsch nicht termingerecht erfüllt werden.

2.3 Produktion

Nachdem die zu betrachtende Produktfamilie festgelegt ist (Abschn. 2.1) und die Kundennachfrage analysiert ist (Abschn. 2.2), kann die eigentliche Wertstromanalyse in der Produktion beginnen. Die Ist-Aufnahme des Wertstroms findet immer in der Fabrik *vor Ort* statt, das heißt auf dem Shop Floor an den Betriebsmitteln und in den Meisterbüros sowie in den Büros der Produktionsplaner. Die benötigten Hilfsmittel sind DIN A3-Papier, Bleistift, Radiergummi, Stoppuhr und im Nachgang ein Taschenrechner. Für die Wertstromaufnahme sind zwei Durchgänge erforderlich:

1. Der erste Durchgang dient der Aufnahme der Produktionsprozesse und des diese verbindenden Materialflusses. Er beginnt an der Schnittstelle der Produktion zum Kunden, in aller Regel also beim Versand. So kann der Wertstrom aus Kundenperspektive bis zu seinen Quellen im Wareneingang zurückverfolgt werden.
2. Der zweite Durchgang dient der Aufnahme der Geschäftsprozesse zur Auftragsabwicklung und des zugehörigen Informationsflusses. Er

beginnt an der Schnittstelle der Auftragsabwicklung zum Kunden, in aller Regel also bei der Kundenauftragsannahme. Von dort aus erreicht man schrittweise alle die Arbeitsplätze, an denen Produktionspapiere erstellt und bearbeitet werden.

Nachdem alle betroffenen Mitarbeiter und gegebenenfalls der Betriebsrat informiert sind, fragt man sich mit den folgenden *vier Leitfragen* schrittweise durch die Produktion und die Auftragsabwicklung. Dabei ist es wichtig, direkt mit den Vorarbeitern, Meistern und Mitarbeitern an den Produktionsprozessen und in den Produktionsplanungsbüros zu sprechen, um möglichst nah an der betrieblichen Realität zu bleiben und die tatsächlichen Gegebenheiten an den Arbeitsplätzen möglichst richtig zu erfassen.

1. Welches sind Ihre Tätigkeiten und Aufgaben?
Diese Frage zielt auf die Prozessbeschreibung in Produktion und Auftragsabwicklung. Bei den Produktionsprozessen empfiehlt es sich, immer einen kompletten Arbeitszyklus zu beobachten und die jeweiligen Zeiten selbst zu messen. Systemseitig hinterlegte Standardzeiten entsprechen nicht immer den tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort. Sie können zu kurz sein, da sie unabhängig vom Druck des Alltagsgeschäfts ermittelt worden sind, oder sie können zu lang sein, da Zuschläge wie Verteilzeiten oder Rüstzeitanteile eingerechnet worden sind oder auch der tatsächliche Produktionsablauf inzwischen geändert und dabei verbessert worden ist. Die so mit der Stoppuhr gemessenen Zeiten sind Stichproben, die einen Eindruck von der Funktionsweise der Produktionsprozesse vermitteln, nicht aber fundierte Zeitaufnahmen zur Lohnermittlung ersetzen sollen. Sonstige Eindrücke vom Zustand der Produktion, wie beispielsweise der Ordnung und Sauberkeit, der Visualisierung von Bereichszuordnungen, Abläufen und Kennzahlen oder auch der Transparenz auf dem Shop Floor lassen sich sehr gut mit einer Digitalkamera festhalten. Bei den Geschäftsprozessen ist zunächst einmal weniger der zeitliche Aufwand als vielmehr der logische Ablauf relevant.

2. Woher wissen Sie, was Sie wann zu tun haben?
Diese Frage zielt auf die in der Produktion verfügbaren Steuerinformationen, die beispielsweise als Auftragslisten, Produktionsaufträge, Arbeitsgangscheine, Lagerentnahmescheine, Kommissionslisten oder auch online mit Planungs- und Steuerungssoftware oder Tabellenkalkulationsprogrammen in der Produktion Verwendung finden. Es ist oft hilfreich, Kopien der unterschiedlichen verwendeten Produktionsunterlagen anzufertigen und der Wertstromdarstellung beizufügen. Oftmals gibt es informelle Informationsflüsse, die teilweise dazu dienen, Mängel des definierten Ablaufes auszugleichen. Bei der Wertstromanalyse sind sie ebenfalls mit

darzustellen. Bei den Geschäftsprozessen sind hier die Auslöser für die einzelnen Stufen der Auftragsbearbeitung zu erfragen.

3. Wie groß ist Ihr Bestand beziehungsweise Ihr Arbeitsvorrat?
Diese Frage zielt auf die Bestände im Materialfluss. Zu zählen ist die Stückzahl der zwischen zwei Produktionsprozessen gelagerten oder gepufferten Teile. Es ist zu beachten, dass es für die gleiche Bevorratungsstufe oft mehrere Lagerorte gibt. Diese Lagerorte alle abzulaufen, verschafft einen wesentlich besseren Eindruck von der tatsächlichen Ist-Situation, als lediglich eine Datenabfrage im Lagerverwaltungssystem zu machen. Außerdem sind Abweichungen zwischen den tatsächlichen und den elektronisch erfassten Beständen nicht gerade selten. Beim Informationsfluss sind entsprechend die Anzahl der offenen Vorgänge je Geschäftsprozess zu ermitteln.

4. Woher erhalten Sie das von Ihnen benötigte Material beziehungsweise Ihre Arbeitsaufträge?
Diese Frage führt zum nächsten Arbeitsplatz, den vorgelagerten Produktionsprozessen respektive den nachgelagerten Geschäftsprozessen, zu dem der innerbetriebliche Führer den gegebenenfalls ortsunkundigen Wertstromerfasser führt. Auch diese Frage ist nachdrücklich zu stellen, da einige Nebenflüsse oft nur wenigen Mitarbeitern bekannt und zuweilen nur auf explizite Nachfrage unmittelbar präsent sind.

Bei der Wertstromaufnahme handelt es sich um eine *Momentaufnahme*, das heißt die Fragen zielen darauf ab, die konkreten Gegebenheiten in der Produktion und bei der Auftragsabwicklung zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erfassen. Dieser Zeitpunkt wäre schlecht gewählt, wenn es sich im Ganzen um eine Ausnahmesituation handelt. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass dies nur sehr selten der Fall ist, auch wenn immer wieder von Sonderfällen und „das ist sonst nicht so“ gesprochen wird. Eine Wiederholung zu einem anderen Termin kann das meist bestätigen; die sogenannten Sonderfälle tauchen dann an anderen Stellen wieder auf. Die Antworten auf die vier Leitfragen liefern die Informationen, die zur blitzlichtartigen Erfassung des Wertstroms benötigt werden.

Das DIN A3-Blatt gibt nun im Regelfall genügend Raum, die erfragten Informationen strukturiert und übersichtlich angeordnet mit den in den folgenden Abschnitten erläuterten Symbolen zu notieren. Im Verlauf der Aufnahme wird man dabei immer wieder Korrekturen vornehmen müssen, da wichtige Sonderfälle vergessen oder Details missverstanden wurden. Manches wird man auch detaillierter analysieren als zunächst gedacht. Aus diesen Gründen hat sich die vor Ort erstellbare und korrigierbare Bleistiftskizze bewährt. Ein guter Radiergummi ist oft das wichtigste Werkzeug

bei der Wertstromanalyse. Zentrales Ergebnis einer Wertstromanalyse ist also eine mit Symbolen erstellte *Wertstromzeichnung*. Als Dokumentation sollte jede Wertstromzeichnung datiert sein. Im Verlauf eines Restrukturierungsprojektes bleibt dieses Blatt mit der Wertstromdarstellung ständiger Begleiter zur Gedächtnisstütze und auch zur Ergänzung von Details, die sich im Projektverlauf als wichtig herausstellen.

Die zur Wertstromdarstellung erforderlichen Symbole zusammen mit den jeweiligen Kennwerten sollen in den folgenden Abschnitten schrittweise erläutert werden. Dies erfolgt anhand der sechs Grundelemente der Wertstromdarstellung, wobei der ‚Kunde' bereits abgehandelt ist (Abschn. 2.2):

1. **Produktionsprozesse** Eine Produktion besteht hauptsächlich aus den Maschinen, Anlagen und Arbeitsplätzen, die die Verarbeitung des Rohmaterials zum Produkt leisten. Diese Betriebsmittel sind in der Wertstromanalyse funktional als Produktionsprozesse modelliert (Abschn. 2.3.1).
2. **Materialfluss & Lieferanten** Damit Material überhaupt bearbeitet werden kann, muss es zu den einzelnen Arbeitsstationen hin- und von dort wieder wegtransportiert werden. Die komplette transport- und fördertechnische Verknüpfung aller Betriebsmittel beschreibt der Materialfluss. Der Materialfluss mit den Lager- und Pufferbeständen wird funktional als Verknüpfung der Produktionsprozesse dargestellt. Dies ist zu ergänzen um den externen Materialfluss von den Lieferanten (Abschn. 2.3.2).
3. **Informationsfluss & Geschäftsprozesse** Damit sich das Material gesteuert und nicht zufällig bewegt, sind Informationen erforderlich, wann welches Material an welche Stelle zu bringen ist und wie es dort zu bearbeiten ist. Im Unterschied zur klassischen Methode der Produktionsvisualisierung – der Layout- und Materialflussdarstellung – werden auch die Informationsflüsse mit den Geschäftsprozessen zur Auftragserfassung, Produktionsplanung und Produktionssteuerung sowie Beschaffung komplett dargestellt; hier zusammengefasst als Auftragsabwicklung (Abschn. 2.3.3).

2.3.1 Produktionsprozesse

In der Wertstromanalyse wird die Produktion dargestellt durch eine Folge von Produktionsprozessen. Das Symbol für den *Produktionsprozess* ist ein einfaches Rechteck, in das oben die Prozessbezeichnung eingetragen wird (Abb. 2.13, Fall 1). Zur besseren Unterscheidung von den Geschäftsprozessen sollte hier nicht vereinfachend von ‚Prozess' gesprochen werden. In

den Prozesskasten werden zur groben Kapazitätsangabe ferner die beiden wichtigsten Grundparameter eines Produktionsprozesses eingetragen. Es hat sich bewährt, auch diese beiden Parameter mit einem kleinen Symbol zu kennzeichnen:

1. Die Anzahl der diesem Prozess zugeordneten Mitarbeiter pro Schicht. Die Mitarbeiter sind symbolisiert mit stilisiertem Kopf und Armen.
2. Die Anzahl der dem Prozess zur Verfügung stehenden alternativen Betriebsmittel, hier bezeichnet als Ressourcen. Die Ressourcen sind symbolisiert mit einem kleinen, senkrecht stehenden Rechteck.

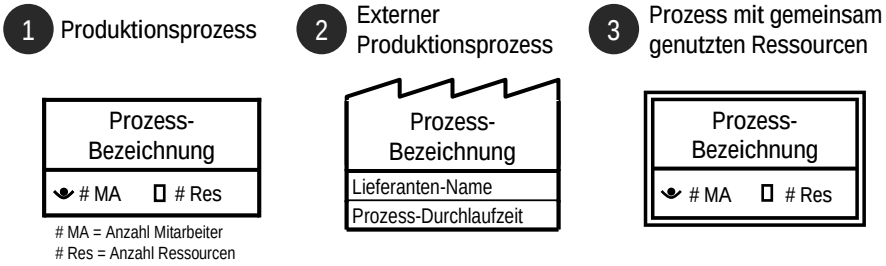


Abb. 2.13. Symbolische Darstellung des Produktionsprozesses

Der Produktionsprozess im engeren Sinne ist ein *technischer Prozess*. Hier werden Materialien und Teile durch die unterschiedlichen Arten der Bearbeitung wertschöpfend verändert. Hierzu gehören insbesondere Verpacken, Montieren, Beschichten, thermisches Behandeln und Fertigen. Nicht unmittelbar der Gestaltung des Erzeugnisses im Sinne des Kunden dienen notwendige Nebentätigkeiten, wie das Sortieren, Kommissionieren, Kennzeichnen oder Prüfen. Diese *logistischen Prozesse* sind ebenfalls als Produktionsprozess darzustellen. Dazu gehören Versenden, Qualität Prüfen, Funktion Prüfen, Kommissionieren und Waren Vereinnahmen. Tätigkeiten der reinen Ortsveränderung von Teilen und Materialien wie Ein- und Auslagern, Fördern und Transportieren sind hingegen normalerweise dem Materialfluss zuzurechnen und nicht als eigenständiger Prozesskasten zu modellieren.

Einen Sonderfall stellt der *externe Produktionsprozess* dar (Abb. 2.13, Fall 2). Hier verlässt der Wertstrom die betrachtete Fabrik für einen Prozessschritt. Die entsprechende Bearbeitung erfolgt bei einem Lieferanten. Dieser bietet als Lohnfertiger bestimmte Technologien an, die im betrachteten Unternehmen nicht verfügbar sind. Als verlängerte Werkbank bietet der Lieferant für vorhandene Technologien eine Kapazitätsergänzung an. Ein externer Prozess beinhaltet sowohl technische als auch logistische Anteile; er ist im Grunde ein kompletter Wertstrom in kompakter Darstellung,

der als „Black Box“ behandelt wird. Zentrale Parameter sind der Name des Lieferanten sowie die gesamte Prozessdurchlaufzeit gemessen von der Versandbereitstellung bis zum Abschluss der Warenvereinnahmung nach der Rücklieferung. Zur symbolischen Darstellung wird der Prozesskasten mit dem stilisierten Scheddach einer Fabrikhalle ergänzt. Die Angabe der Durchlaufzeit ersetzt die Kapazitätsaussagen der werksinternen Produktionsprozesse. Ein externer Prozess ähnelt dadurch einem Element des Materialflusses.

Manche Produktionsprozesse stehen nicht ausschließlich für einen Wertstrom zur Verfügung (Abb. 2.13, Fall 3). Sie beinhalten Ressourcen, die auch Produkte anderer, in der Analyse zunächst nicht betrachteter Produktfamilien bearbeiten. Dies spielt eine wichtige Rolle bei der kapazitativen Beurteilung und später bei der Soll-Konzeption. Daher sind Prozesskästen der Produktionsprozesse, die von mehreren Wertströmen *gemeinsam genutzte Ressourcen* beinhalten, durch doppelte Umrandung gesondert zu kennzeichnen.

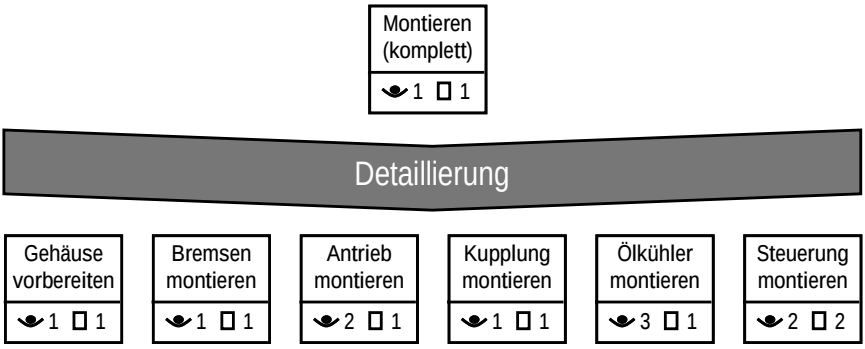


Abb. 2.14. Skalierbarer Detaillierungsgrad der Produktionsprozesse

Bei der Modellierung der Produktionsprozesse stellt sich die Frage, welche Tätigkeiten alle einem bestimmten Prozessschritt zuzurechnen sind – und welche Tätigkeiten dann im Prozessschritt davor oder dahinter abzubilden sind. Für die Abtrennung der einzelnen Produktionsprozesse voneinander ist der angestrebte *Detaillierungsgrad* der Wertstromaufnahme ausschlaggebend. Produktionsprozesse bestehen aus einer Abfolge von Tätigkeiten. Die kleinsten Elemente einer Tätigkeit sind einzelne Bewegungen – beispielsweise ‚Greifen einer Schraube’ –, die jeweils einzeln zeitlich bewertet werden können. Erst mehrere dieser Elemente bilden zusammen eine abgeschlossene Handlungseinheit – beispielsweise ‚Positionieren und Aufschrauben eines Deckels auf ein Gehäuse’. Diese Handlungseinheiten entsprechen dem feinsten Detaillierungsgrad, der in einer

Wertstromaufnahme darstellbar ist. Meist ist es jedoch sinnvoller, die Produktionsprozesse in einem gröberen Detaillierungsgrad aufzunehmen.

So könnte beispielsweise eine komplette Endmontage ‚Montieren (komplett)' in einem Prozesskasten zusammengefasst werden (Abb. 2.14). Dieser Endmontage sind dann alle zehn Mitarbeiter zugeordnet, die an mehreren aufeinanderfolgenden Montagestationen arbeiten. Im dargestellten Beispiel einer Getriebemontage sind das sechs Stationen, wobei die letzte Station wegen des großen Arbeitsumfanges verdoppelt ist. Jeder dieser sechs Produktionsprozesse kann nun mit seinem jeweiligen Arbeitsinhalt und der sonstigen Prozesscharakteristik dargestellt werden.

Kennwerte zur Prozessbeschreibung

Produktionsprozesse sind bei der Wertstromanalyse durch unterschiedliche Zeiten charakterisiert:

1. Die *Bearbeitungszeit* (BZ) gibt an, wie lange ein Teil bearbeitet wird (Abb. 2.15, Fall 1a). Diese Zeit beinhaltet sowohl den manuellen Arbeitsinhalt für den Mitarbeiter als auch die Laufzeit des Betriebsmittels. Beim Fräsen wäre das also der Zeitbedarf zum Aufspannen des Teils, zum Programmieren der Maschine, zum Fräsen und schließlich zur Entnahme des Teils. Außerdem sind alle unmittelbar mit dem Bearbeitungsvorgang verbundenen *Nebenzeiten* (NZ) enthalten. Der Zeitanteil an der Bearbeitungszeit für Aktivitäten, die das Produkt tatsächlich so verändern, wie der Kunde es haben möchte, wird als *Wertschöpfungszeit* (WZ) bezeichnet (Abb. 2.15, Fall 1b). Die Zuordnung von Tätigkeiten zu diesen Kategorien setzt eine detaillierte Zeitaufnahme voraus, die man beispielsweise im Anschluss an eine Wertstromanalyse zur Prozessoptimierung durchführen kann.
2. Die *Prozesszeit* (PZ) gibt an, wie lange sich Teile im jeweiligen Produktionsprozess befinden, sofern mehrere Teile gleichzeitig bearbeitet werden. Im Durchlaufprozess werden die Teile einzeln zu- und abgeführt (Abb. 2.15, Fall 2a), während im Chargenprozess die Teile in Losen gleichzeitig bearbeitet werden (Abb. 2.15, Fall 2b). Beispiel für den ersten Fall ist ein Durchlaufofen, für den zweiten Fall das Härten oder Waschen von Teilen in Körben.
3. Die *Rüstzeit* (RZ) ist die Zeit, während der ein Betriebsmittel aufgrund eines Wechsels der Vorrichtungen, Werkzeuge oder Materialien (Farbe, Coil, Granulat) für eine neue Teilevariante nicht für die Bearbeitung zur Verfügung steht (Abb. 2.15, Fall 3). Sie wird gemessen vom letzten Gutteil der vorhergehenden bis zum ersten Gutteil der folgenden Variante.

4. Spezifisch für die Wertstrommethode ist die Angabe der *Zykluszeit* (ZZ). Diese Zeit gibt an, nach welchem Zeitintervall ein Teil oder ein Produkt in einem Produktionsprozess fertiggestellt wird (Abb. 2.15, Fall 4). Steht nur ein Betriebsmittel zur Verfügung, dann sind Bearbeitungszeit und Zykluszeit gleich. Wenn beispielsweise ein Monteur zehn Minuten für die Montage eines Produktes benötigt, dann wird auch alle zehn Minuten ein Produkt fertiggestellt. Verdoppelt man die Zahl der Ressourcen, dann halbiert sich die Zykluszeit. Im Beispiel liefern zwei Monteure alle fünf Minuten ein Fertigprodukt ab. Bei Durchlauf- und Chargenprozessen ergibt sich die Zykluszeit durch Division der Prozesszeit durch die Anzahl der Teile im Prozess. Bei einem Durchlaufofen mit 100 Teilen und einer Prozessdauer von 100 Minuten beträgt demnach die Zykluszeit eine Minute.

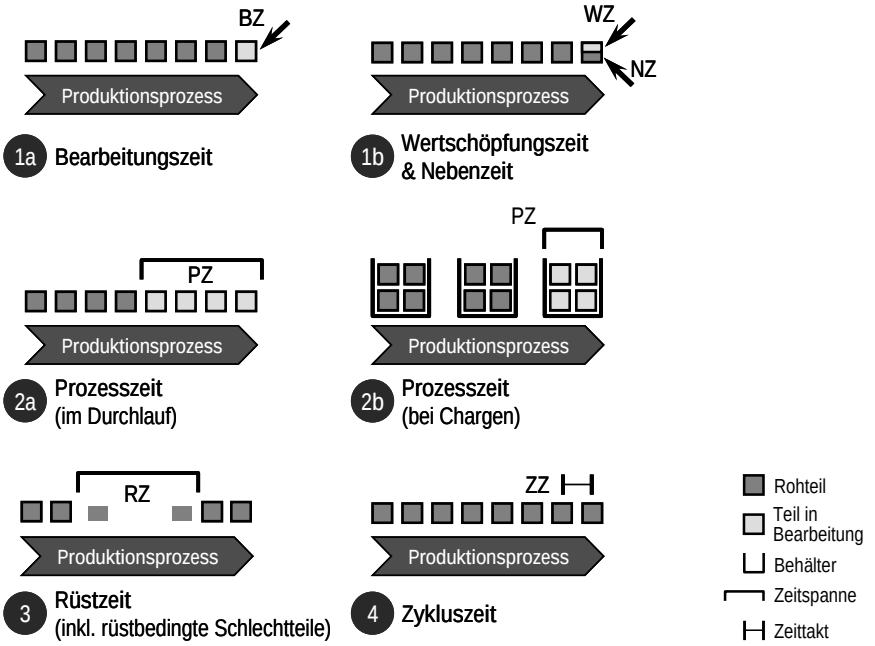


Abb. 2.15. Prinzipskizzen der unterschiedlichen Zeitparameter

Jedem Produktionsprozess werden nun in einem Datenkasten ähnlich wie beim Kundensymbol wesentliche *Kennwerte* zur Prozessbeschreibung hinzugefügt. Grundlegende Idee bei der Ermittlung dieser Kennwerte ist, die in der Fabrik tatsächlich bestehenden Gegebenheiten zu erfassen. Daher sollten auch nicht die Vorgabezeiten aus dem Arbeitsplan in die Wertstromzeichnung übertragen werden. Die Bearbeitungszeiten misst der Wertstromerfasser selbst mit einer Stoppuhr. Dabei kommt es zunächst

nicht darauf an, eine hohe Genauigkeit zu erreichen oder gar die Grundlage für ein neues Entlohnungsmodell zu legen. Zielsetzung ist vielmehr, die Leistungsfähigkeit der Produktionsprozesse absolut und auch relativ zueinander und in Bezug auf den Kundentakt abschätzen zu können. Dies gelingt besser, wenn man Zeiten selbst gemessen hat. Im Unterschied zur Übernahme lediglich abstrakter Zahlenwerte weiß man dann, welche konkrete Tätigkeit jeweils zu den Produktionsprozessen gehört. Detaillierte, methodisch abgesicherte Zeitaufnahmen sind erst erforderlich, wenn im Rahmen eines Soll-Konzeptes die einzelnen Produktionsprozesse gestaltet werden (Abschn. 3.2.2).

Der hier dargestellte Produktionsprozess-Datenkasten ist deutlich umfangreicher als üblicherweise in der Literatur angegeben. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass hier erstmalig auch Variantenfertigung durch standardisierte Datenfelder berücksichtigt wird. Ferner hat sich in der Praxis gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen Bearbeitungszeit und Zykluszeit eines Produktionsprozesses manchmal recht komplex ist. Zur Sicherstellung der Verständlichkeit und späteren Lesbarkeit der Daten sind daher zusätzliche Kennwerte des Produktionsprozesses zu erfassen. Insgesamt lässt sich der *Datenkasten* in drei Abschnitte unterteilen, die jeweils die Informationen für eine wertstromspezifische Aussage zusammenfassen:

1. Informationen zur Ermittlung der Zykluszeit als Kennwert für die *Prozesskapazität.*
2. Informationen zur Ermittlung des EPEI-Wertes als Kennwert für die rüstzeitabhängige *Variantenflexibilität* eines Prozesses.
3. Informationen zur Ermittlung des prozessspezifischen Kundentaktes als Kennwert für prozessspezifische Anforderungen und *Qualitätsmerkmale.*

Diese drei Datenblöcke sollen im Folgenden näher erörtert werden. Zur besseren innerbetrieblichen Kommunikation und als Gedächtnisstütze hat es sich als praktikabel erwiesen, zunächst ergänzend zur verbal formulierten Prozessbezeichnung auch die Bezeichnungen der Maschinen im Datenkasten zu notieren (Abb. 2.16, erste Zeile).

Zykluszeit

Mit der Zykluszeit kann eine Aussage über das Kapazitätsangebot eines Produktionsprozesses getroffen werden. Der erste im Datenkasten einzutragende Zahlenwert ist das Grunddatum eines Produktionsprozesses schlechthin: die Bearbeitungszeit (BZ). Damit ist der *zeitliche Aufwand* der Produktion erfasst (Abb. 2.16). Bei der Messung mit einer Stoppuhr direkt

vor Ort werden die wertschöpfenden und die nicht wertschöpfenden Zeitanteile nicht getrennt ermittelt. Das bleibt einer Detailanalyse vorbehalten. Nebenzeiten, die nicht unmittelbar in Zusammenhang mit der Bearbeitung eines einzelnen Stückes stehen, sondern gesammelt für mehrere Produkte durchgeführt werden, sind der Rüstzeit (siehe Datenkasten, Abschnitt 2) zuzurechnen.

	Betriebsmittel-Name
BZ	Bearbeitungszeit
PZ	Prozesszeit
PM	Prozess-Menge
# T	Anzahl Teile je Produkt
ZZ	Zykluszeit

Abb. 2.16. Datenkasten, Abschnitt 1, mit den Informationen zur Ermittlung der Zykluszeit

Befinden sich mehrere Teile gleichzeitig im Produktionsprozess, dann erfasst man die Bearbeitungszeit am besten gesondert als Prozesszeit. Derart in *Chargen* oder alternativ im *kontinuierlichen Durchlauf* arbeiten in der Regel Prozesse, die dem Ändern von Stoffeigenschaften dienen, also beispielsweise Wärmebehandlung oder Oberflächenbeschichtung. Diese Prozesse sind in der Regel mit deutlich längeren Zeiten verbunden als andere Produktionsprozesse. Daher sind deren Prozesszeiten auch nur bedingt mit anderen Bearbeitungszeiten vergleichbar und sollten extra erfasst werden. Die Anzahl der Teile in einer Charge wird mit der Prozess-Menge angegeben. Beim Härten beispielsweise kann das die Teileanzahl pro Korb, beim Durchlaufofen die Anzahl der Teile im Ofen sein.

Gelegentlich erlaubt eine Vorrichtung (zum Beispiel in einer Fräse) oder ein Werkzeug (zum Beispiel beim Spritzguss) die *gleichzeitige Bearbeitung* mehrerer Teile. Kompliziert wird es, wenn für das gleiche Teil auch noch Alternativen bestehen (beispielsweise beim Spritzguss eine Doppel- und eine Vierer-Kavität). In diesem Fall ist es in der Regel am sinnvollsten, die Prozess-Menge auf die Bearbeitungszeit beziehen, da es sich um keine Chargenfertigung mit ihren Spezifika handelt. Diese Form der Mehrfachbearbeitung ist in der Regel sehr größensensitiv und damit von der jeweiligen Variante abhängig.

Zuweilen liefert ein Produktionsprozess mehrere *Gleichteile* für jeweils ein Endprodukt. Deren Anzahl erhöht den Zeitbedarf für die Bearbeitung. Möglicherweise liefert ein Produktionsprozess auch unterschiedliche Teile. Dann kann man auch einfach alle Bearbeitungszeiten addieren und in dieser Zeile die Zahl der berücksichtigten Teile vermerken.

Aus den genannten Angaben für einen Produktionsprozess kann nun die *Zykluszeit* als ein für die Wertstromanalyse wichtiges Zwischenergebnis wie folgt ermittelt werden: Im einfachsten Fall entspricht die Bearbeitungszeit der Zykluszeit des Prozesses. Falls, wie jeweils im Prozesskasten eingetragen, mehrere alternative Ressourcen zu Verfügung stehen, dann erhöht das die Ausbringung des Prozesses, da mehrere Teile gleichzeitig bearbeitet werden können. Das verringert dann die Zykluszeit; sie ergibt sich durch Division von Bearbeitungszeit durch Ressourcenanzahl (Gl. 2.3, links). Die Zykluszeit eines Chargenprozesses ergibt sich als Quotient der Prozesszeit und der Prozess-Menge (Gl. 2.3, rechts). Im Durchlaufprozess entspricht der Takt des Anlagenausstoßes genau der Zykluszeit. Auch hier ist gegebenenfalls die Anzahl gleicher Betriebsmittel zu berücksichtigen. Insgesamt ergibt sich zur Berechnung der Zykluszeit:

$$ZZ = \frac{BZ \times \#T}{\#Res} \quad \text{oder:} \quad ZZ = \frac{PZ \times \#T}{PM \times \#Res}$$

mit: ZZ Zykluszeit [Zeiteinheit]
BZ Bearbeitungszeit [Zeiteinheit]
PZ Prozesszeit [Zeiteinheit]
PM Prozess-Menge bei Chargen oder im Durchlauf [Stck.]
T Anzahl Gleichteile pro Endprodukt [Stck.]
Res Anzahl gleicher Ressourcen [Stck.]

(2.3)

Zykluszeit

Die *Zykluszeit* gibt die Leistungsfähigkeit des Produktionsprozesses in Zeiteinheiten bei kontinuierlichem Betrieb ohne rüst- oder störungsbedingte Unterbrechungen wieder. Die Zykluszeit beschreibt das *Kapazitätsangebot* eines Produktionsprozesses in Bezug auf den Kundenbedarf. Er gibt an, welcher als Kundentakt formulierte Kundenbedarf maximal gedeckt werden kann.

EPEI-Wert

Falls bei der Produktion von Varianten oder kundenspezifischen Erzeugnissen Rüstvorgänge notwendig sind, sinkt das Kapazitätsangebot des Prozesses entsprechend. Diese Einschränkungen der Kapazität sind nicht in der Zykluszeit mit einberechnet, damit die *Variantenflexibilität* unabhängig vom Netto-Kapazitätsbedarf betrachtet werden kann. Für die Variantenfertigung soll nun mit den im zweiten Abschnitt des Datenkastens angegebenen Kennwerten ermittelt werden, welcher Zeitraum benötigt wird, um alle Varianten einmal zu fertigen. Dieser Zeitraum entspricht dem EPEI-Wert.

nach

von / Variante	VG 01	VG 02	VG 03	VG 04	VG 05	VG 06	VG 07	VG 08	VG 09	VG 10	VG 11	VG 12	VZ 01	VZ 02	VZ 03	VZ 04	VZ 05	VZ 06	VZ 07	VZ 08	VZ 09	VZ 10	VZ 11
VG 01		130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 02	130		130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 03	130	130		**35**	**35**	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 04	130	130	**35**		**35**	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 05	130	130	**35**	**35**		130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 06	130	130	130	130	130		**35**	**35**	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 07	130	130	130	130	130	**35**		**35**	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 08	130	130	130	130	130	**35**	**35**		130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 09	130	130	130	130	130	130	130	130		**35**	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 10	130	130	130	130	130	130	130	130	**35**		130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 11	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130		**35**	135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VG 12	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	**35**		135	135	135	140	140	145	145	160	160	240	240
VZ 01	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130		**35**	**35**	140	140	145	145	160	160	240	240
VZ 02	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	**35**		**35**	140	140	145	145	160	160	240	240
VZ 03	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	**35**	**35**		140	140	145	145	160	160	240	240
VZ 04	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135		**35**	145	145	160	160	240	240
VZ 05	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~135~~	~~135~~	~~135~~	~~**35**~~		~~145~~	~~145~~	~~160~~	~~160~~	240	240
VZ 06	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140		**35**	160	160	240	240
VZ 07	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	**35**		160	160	240	240
VZ 08	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145		**35**	240	240
VZ 09	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	**35**		240	240
VZ 10	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~130~~	~~135~~	~~135~~	~~135~~	~~140~~	140	145	145	160	160		**70**
VZ 11	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	135	135	135	140	140	145	145	160	160	**70**	

Abb. 2.17. Beispiel für eine Rüstmatrix

Die Zeitdauer pro Rüstvorgang wird mit der Rüstzeit im Datenkasten angegeben (Abb. 2.18). Die Rüstzeit ist nicht immer für alle Varianten gleich. Mit Hilfe einer *Rüstmatrix* kann man optimale Rüstreihenfolgen festlegen (Abb. 2.17). Die in der Abbildung hervorgehobenen und umrandeten Bereiche zeigen, welche Varianten hintereinander eingerüstet werden sollten. Auch ist die Matrix nicht symmetrisch, das heißt es ist beispielsweise aufwendiger vom Typ VZ 10 auf VZ 5 zu wechseln als umgekehrt; im ersten Fall dauert es 240 Minuten, im zweiten Fall 140 Minuten. In den Datenkasten trägt man am besten den mittleren Wert ein, der sich aus der Planungs- und Steuerungslogik im jeweiligen Ist-Zustand ergibt. Je nachdem also, in welchem Grad die Lose in optimaler Reihenfolge aufgelegt werden, wird auch die entsprechend mehr oder weniger minimierte Rüstzeit eingetragen.

RZ	Rüstzeit
LG	Losgröße
# Var	Anzahl Teile-Varianten
V	Verfügbarkeit [%]
EPEI	EPEI-Wert

Abb. 2.18. Datenkasten, Abschnitt 2, mit den Informationen zur Ermittlung des EPEI-Wertes

Die *Losgröße* gibt im Datenkasten ferner an, wie viele Gleichteile in direkter Abfolge im Produktionsprozess bearbeitet werden (Abb. 2.18). Sie

ist von der Prozess-Menge dadurch unterschieden, dass die Teile im Los nicht gleichzeitig bearbeitet werden. Üblicherweise ist die Losgröße nicht für jede Variante gleich, sondern wird abhängig vom durchschnittlichen Kundenbedarf festgelegt.

Als Beispiel soll die weit verbreitete Andlersche Losgrößenformel zur Ermittlung einer *optimalen Losgröße* kurz vorgestellt werden. Bei der Losgrößenrechnung werden die Rüstkosten mit den Bevorratungskosten verglichen. Dahinter steckt folgender Grundgedanke: Bei zu kleinen Losen sind die Rüstkosten anteilig zu hoch, da sie sich auf zu wenige Teile verteilen lassen. Bei zu großen Losen steigen die Bevorratungskosten, da der Verbrauch der Teile zu lange dauert. Die Bevorratungskosten berücksichtigt man beispielsweise pauschal mit einem auf die Herstellkosten aufgeschlagenen Lagerhaltungskostenfaktor, der Kapitalkosten, Lagerplatzkosten, Lagerverwaltungskosten, Veraltungsrisiko und andere beinhalten kann. Ein erfahrungsgemäß angemessener Wert hierfür liegt bei 25 Prozent. Hier wird also vereinfachend angenommen, dass alle Bevorratungskosten proportional zu den Herstellkosten sind. Zusammen mit den Rüstkosten und der Jahresstückzahl der jeweiligen Variante ergibt sich für die Losgröße die Quadratwurzel:

$$LG_{opt} = \sqrt{\frac{200 \times RK \times \# J_{Var}}{HK \times LKF}} \tag{2.4}$$

mit: LG_{opt} optimale Losgröße einer Variante [Stck.]
HK Herstellkosten [€]
LKF Lagerkostenfaktor [%]
RK Rüstkosten [€]
$\#J_{Var}$ Jahresstückzahl der Variante [Stck.]

Im Ergebnis erhält man für jede Variante ständig angepasste Losgrößen. Diese Art der Kostenoptimierung erkauft man sich mit einigen Nachteilen. So erhöht sich die Komplexität der Steuerung und der Produktionsabläufe, da in der Produktion immer mit anderen Mengen gearbeitet werden muss. Ferner fließen die Auswirkungen einer Durchlaufzeitveränderung durch unterschiedliche Losgrößen nicht in die Bewertung ein. Außerdem gibt es keinen Anreiz, die Rüstkosten zu senken, da man sich ja schon am Optimum wähnt. Zu beachten ist, dass bei der Berechnung die mit der Bevorratung verbundenen Aufwendungen nicht unterschätzt werden. Häufig werden die Rüstkosten fälschlich zu hoch angesetzt, da über den Maschinenstundensatz auch Abschreibungen eingehen, die auch anfallen würden, wenn die Maschine in der eingesparten Rüstzeit ungenutzt stehen würde. Für stückzahlniedrige Exotenvarianten werden in der Regel Mindest-Losgrößen definiert, die über dem errechneten Optimum liegen. In den

Datenkasten (Abb. 2.18) trägt man am besten die kleinste und die größte sowie die mittlere (oder häufigste) Losgröße ein, da diese Werte als Vergleichswerte bei etwaigen Änderungen im Soll-Konzept sinnvoll sind.

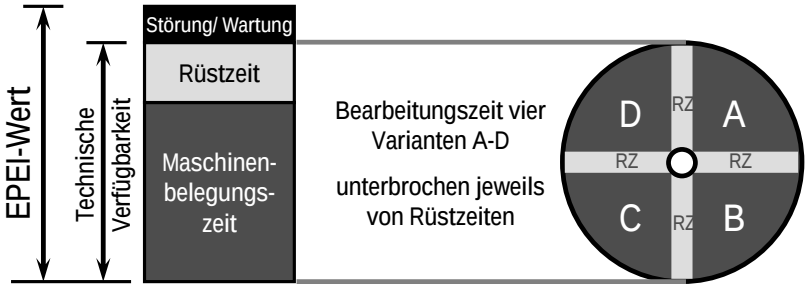


Abb. 2.19. Schematische Darstellung der Berechnung des EPEI-Wertes

Mit der Anzahl der Teile-Varianten erhält man auch die Anzahl der Rüstvorgänge, die erforderlich sind, um alle Varianten genau einmal als Los aufzulegen. Der Zeitraum nun, der benötigt wird, um die Rüstfolge über alle Varianten einmal komplett zu durchlaufen, heißt *EPEI-Wert*. EPEI ist das Akronym von „Every Part – Every Interval“. Die Abfolge aller Varianten mit der jeweiligen Bearbeitungszeit und den dazwischenliegenden Rüstzeiten lässt sich sehr anschaulich in einem Kreisdiagramm auftragen (Abb. 2.19, rechts). Stehen mehrere Ressourcen zur Verfügung, dann verringert sich der EPEI-Wert – allerdings nur dann, wenn parallel unterschiedliche Varianten bearbeitet werden.

Im einfachen Fall gleicher Losgrößen und Rüstzeit je Variante erhält man den EPEI-Wert entsprechend Gleichung 2.5 durch Addition aller Bearbeitungs- und Rüstzeiten. Alternativ lassen sich jeweils auch die Mittelwerte einsetzen. Bei variantenabhängigen Losgrößen oder reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten kann man auch die entsprechenden Einzelwerte addieren.

$$EPEI = \frac{\sum BZ + \sum RZ}{\#Res \times AZ} = \frac{\#Var}{\#Res} \times \frac{\left(\left(LG \times BZ\right) + RZ\right)}{AZ} \tag{2.5}$$

mit: # Var Anzahl der Varianten [Stck.]
Res Anzahl gleicher Ressourcen [Stck.]
LG Losgröße (Durchschnitt) [Stck.]
BZ Bearbeitungszeit pro Stück (Durchschnitt) [Zeiteinheit]
RZ Rüstzeit [Zeiteinheit]
AZ tägliche Arbeitszeit [Zeiteinheit]

Noch nicht berücksichtigt sind geplante und ungeplante Stillstände der Ressourcen. Diese entstehen durch vorbeugende Instandhaltung und Reparatur sowie Maschinenstörungen mit zeitweiligem Ausfall oder reduzierter Funktionserfüllung im Langsamlauf (Abb. 2.19, links). Der idealerweise erreichbare EPEI-Wert ist demnach noch um die *technische Verfügbarkeit* der jeweiligen Ressourcen zu korrigieren und erhöht sich dadurch entsprechend:

$$EPEI = \frac{\sum BZ + \sum RZ}{\#Res \times V \times AZ} = \frac{\#Var}{\#Res \times V} \times \frac{((LG \times BZ) + RZ)}{AZ} \tag{2.6}$$

mit:
- # Var Anzahl der Varianten [Stck.]
- # Res Anzahl gleicher Ressourcen [Stck.]
- LG Losgröße (Durchschnitt) [Stck.]
- BZ Bearbeitungszeit pro Stück (Durchschnitt) [Zeiteinheit]
- RZ Rüstzeit [Zeiteinheit]
- AZ tägliche Arbeitszeit [Zeiteinheit]

EPEI-Wert

Der *EPEI-Wert* im Ist-Zustand eines Produktionsprozesses ergibt sich aus der Summe der Bearbeitungszeit für alle Produktvarianten in den jeweils vorgegebenen Losgrößen zuzüglich der notwendigen Rüstzeiten sowie geplanter und ungeplanter Stillstände. Dieser Wert besagt, wie lange es unter den aktuellen Bedingungen dauert, bis alle Varianten einmal produziert worden sind. Im Unterschied zu der bloßen Angabe von Rüstzeiten und Losgrößen kann man aus diesem Wert sehr leicht ablesen, wie *flexibel* ein Produktionsprozess momentan ist.

Prozessspezifischer Kundentakt

Im dritten Informationsblock des Datenkastens sind neben den bisher erfassten Zeit- und Varianzgrößen als dritte Kategorie noch einige Qualitätsdaten zu erfassen (Abb. 2.20). Die *Gutausbeute* und die *Nacharbeitsquote* des jeweiligen Produktionsprozesses erhöhen gemeinsam den Kapazitätsbedarf durch einen entsprechenden prozentualen Aufschlag. Dieser Aufschlag fließt aber nicht, wie die Rüstzeit, in die Zeitkalkulation ein, sondern erhöht die im Prozess zu bearbeitende Stückzahl. Dadurch ist nicht das Kapazitätsangebot der Ressourcen betroffen, sondern die Kapazitätsnachfrage ausgedrückt im Kundentakt. Das hat den unangenehmen Nebeneffekt, dass sich qualitätsbedingte Änderungen der erforderlichen Menge auf alle vorgelagerten Prozesse vererben. Es muss nicht nur der Ausschuss für den jeweils betrachteten Produktionsprozess, sondern auch für alle

Folgeprozesse mitproduziert werden, um nachher den Kundenbedarf auch abdecken zu können. Die Nacharbeit erzeugt zudem einen zusätzlichen Materialfluss, der entweder zurückläuft oder aber zu einem speziellen Nacharbeitsprozess verzweigt.

↑	Gutausbeute [%]
↵	Nacharbeit [%]
AZ_P	Prozess-Arbeitszeit je Tag
$Stck_P$	Prozess-Jahresstückzahl
KT_P	Prozess-Kundentakt

Abb. 2.20. Datenkasten, Abschnitt 3, mit den Informationen zur Ermittlung des prozessspezifischen Kundentaktes

Manche Produktionsprozesse werden nicht für alle Produkte einer Produktfamilie benötigt, sondern von einigen übersprungen. Bei *verzweigten Wertströmen* mit alternativen Prozessketten für unterschiedliche Varianten werden die jeweiligen Zweige mit einem prozentualen Anteil der Gesamtstückzahl beaufschlagt. Auch dies beeinflusst den prozessspezifischen Kundentakt. Berücksichtigt man noch das gegebenenfalls *prozessspezifische Arbeitszeitmodell* mit der täglichen Arbeitszeit, kann man den prozessspezifischen Kundentakt (KT_P) wie folgt ermitteln:

$$KT_P = KT \times \frac{AZ_P}{AZ} \times \frac{Stck}{Stck_P} \times \left(\sum_{i=1}^{i=P} \uparrow i \right) \times (1 - \hookleftarrow) \tag{2.7}$$

mit: KT/KT_P (prozessspezifischer) Kundentakt [Zeiteinheit]
↑ Gutausbeute [%]
↵ Nacharbeit [%]
AZ/AZ_P Arbeitszeit/AZ bezogen auf Produktionsprozess [%]
$Stck/Stck_P$ Jahresstückzahl/prozessbezogene Jahresstückzahl [%]

Prozessspezifischer Kundentakt

Der *prozessspezifische Kundentakt* ist ein Korrekturwert zum Kundentakt, der übergreifend für den gesamten Wertstrom gilt. Hier fließen Qualitätsprobleme und Sonderlösungen für die prozessspezifische Arbeitszeit ein. Relevant ist dieser Wert auch bei uneinheitlich gebildeten Produktfamilien, die zu verzweigten, also komplexeren Wertströmen führen. Insgesamt kann man das prozentual ausgedrückte Verhältnis zwischen Kundentakt und prozessspezifischem Kundentakt auch als *Qualitätsmerkmal* für den betrachteten Wertstrom auffassen. Dieser Wert gibt an, wie weit Kapazitätsangebot und Variantenflexibilität eingeschränkt werden.

Bei der Wertstromaufnahme sind nun alle Produktionsprozesse der Reihe nach beginnend beim Versenden mit ihren Kennwerten zu erfassen und in der Wertstromzeichnung einzutragen. Die Prozesskästen sind dabei in ihrer Abfolge von rechts nach links unter dem Kundensymbol beginnend stromaufwärts in der unteren Hälfte des Zeichnungsblattes einzutragen (Abb. 2.21). Jeweils unter dem Prozesskasten zeichnet man den zugehörigen Datenkasten mit den entsprechenden Kennwerten ein.

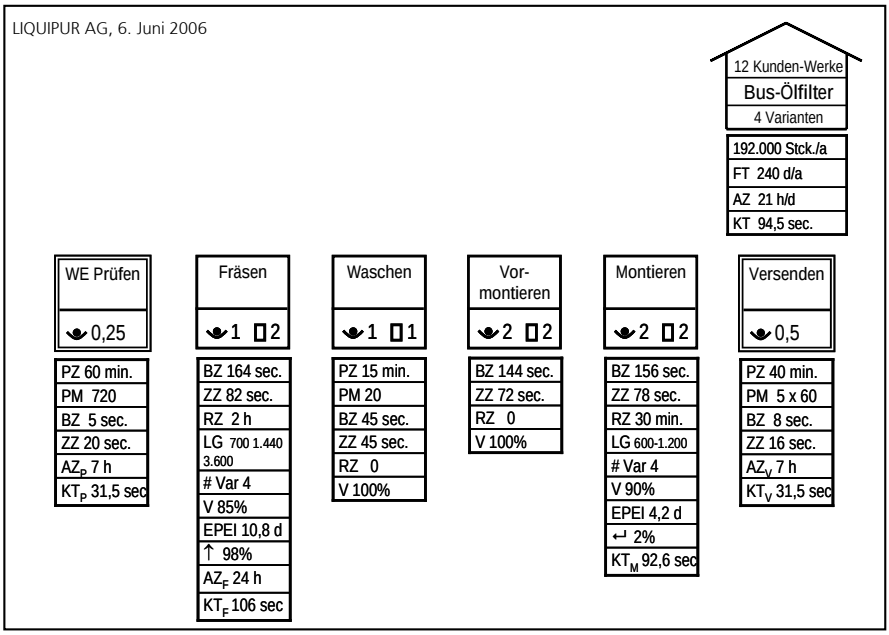


Abb. 2.21. Wertstromaufnahme bei Liquipur (2): Produktionsprozesse

Fallbeispiel Die betrachteten Ölfilter der Firma *Liquipur* haben als Grundkörper ein gefrästes Aluminium-Druckguss-Gehäuse. Das Fertigprodukt besteht neben diesem Gehäuse aus weiteren vierundzwanzig Kaufteilen, wie Dichtungen, Ventil, Schalter, Filterelement und Kunststoff-Gehäuseteile. Insgesamt durchläuft das Produkt sechs Produktionsprozesse: Das Gussteil wird vereinnahmt, anschließend gefräst und gewaschen, danach in einem zweistufigen Montageprozess zusammengebaut und schließlich versendet. Die Einzelheiten sind in der nun folgenden ausführlichen Prozessbeschreibung dargestellt:

1. Versenden Die Ölfilter werden als Palette mit 5 Lagen à 60 Stück versendet. Bereitstellen und Verladen einer Palette sowie Andruck und Zuordnung der Lieferpapiere benötigen durchschnittlich 30 Minuten. Hinzu kommt ein Aufwand von etwa 10 Minuten für das Vereinnahmen und Einlagern der aus der Produktion gelieferten Ware. Pro Stück ergibt sich daraus eine Bearbeitungszeit von 40 min./ 300 Stck. = 8 Sekunden. Der Prozess wird zugleich auch für andere Produkte be-

nutzt, für die Ölfilter steht eine halbe Arbeitskraft zur Verfügung. Daraus ergibt sich eine Zykluszeit von 16 Sekunden. Der Versand arbeitet einschichtig (7 Stunden). Bei einem Kundentakt von 94,5 Sekunden im Dreischichtbetrieb (21 Stunden) ergibt sich ein prozessspezifischer Kundentakt von 31,5 Sekunden.

2. Montieren Die Bearbeitung wird mit dem Justieren und dem Montieren der Kunststoff-Gehäuseteile abgeschlossen. Ein Mitarbeiter benötigt hierfür 156 Sekunden. Bei zwei gleichartigen Arbeitsplätzen mit je einem Mitarbeiter beträgt die Zykluszeit 78 Sekunden. Die Justiervorrichtung kann in 30 Minuten auf eine andere Variante umgerüstet werden, wobei auf beiden Arbeitsplätzen das gleiche Los bearbeitet wird. Die Losgrößen betragen für die beiden stückzahlstarken Varianten je 1.200 Stück, für die beiden anderen Varianten je 600 Stück. Die Verfügbarkeit beträgt lediglich 90 Prozent. Da beim Montieren immer beide Arbeitsplätze mit der gleichen Variante eingerüstet werden, erhöht sich der Rüstaufwand für einen kompletten Variantenzyklus entsprechend. Nach Umformung von Gl. 2.6 kann der EPEI-Wert wie folgt berechnet werden:

$$EPEI = \frac{\sum BZ + \sum RZ}{\#Res \times V} = \frac{\sum_{\text{var}=1}^{4} LG_{\text{var}} \times BZ + [\#\text{Var} \times \#\text{Res} \times \text{RZ}]}{\#\text{Res} \times V}$$

$$EPEI_M = \frac{((2 \times 1.200 + 2 \times 600) \times 156\,\text{sec.}) + (4 \times 2 \times 0{,}5\,\text{h})}{2 \times 90\,\%} = \frac{88{,}88\,\text{h}}{[21\,\text{h/d}]} \approx 4{,}2\,\text{d} \tag{2.8}$$

mit: BZ Bearbeitungszeit [Zeiteinheit]
RZ Rüstzeit [Zeiteinheit]
LG Losgröße [Stck.]
Var Anzahl der Varianten [Stck.]
Res Anzahl gleicher Ressourcen [Stck.]
V Verfügbarkeit [%]

Um alle Varianten einmal auf beiden Arbeitsplätzen in den vorgegebenen Losgrößen zu montieren, werden also 4,2 Tage benötigt. Ferner müssen 2 Prozent der Produkte nachgearbeitet werden. Dadurch erhöht sich der Kapazitätsbedarf in der Montage, das heißt der Kundentakt sinkt entsprechend Gl. 2.7 auf 92,6 Sekunden:

$$KT_M = KT \times (1 - ↵) = 94{,}5\,\text{sec.} \times (1 - 0{,}02) = 92{,}6\,\text{sec.} \tag{2.9}$$

mit: KT Kundentakt [Zeiteinheit]
↵ Nacharbeit [%]

3. Vormontieren Alle Kleinteile werden in das Gussgehäuse eingesetzt. Ein Mitarbeiter benötigt hierfür 144 Sekunden. Es werden zwei gleichartige Arbeitsplätze genutzt, damit beträgt die Zykluszeit 72 Sekunden. Da es keine Vorrichtungen gibt, entfallen das Rüsten und etwaige Störungen.

4. Waschen Die gefrästen Gussteile werden in Behältern zu je 20 Stück in 15 Minuten gewaschen. Ein Mitarbeiter übernimmt das Handling sowie den Transport zum Vormontieren und von der vorhergehenden Bearbeitung und ist damit voll

ausgelastet. Durch einfache Division ergeben sich Zykluszeit und Bearbeitungszeit je Stück zu 45 Sekunden. Die Waschmaschine weist keine Störungen auf und muss auch nicht gerüstet werden.

5. Fräsen Die Rohgussteile werden auf zwei Fräsmaschinen mechanisch komplett bearbeitet. Ein Mitarbeiter übernimmt Handling und Rüsten an beiden Anlagen. Die Bearbeitungszeit pro Stück beträgt 164 Sekunden, damit beträgt die Zykluszeit 82 Sekunden. Die Rüstzeit je Maschine beträgt 2 Stunden, wobei auf beiden Maschinen zugleich das gleiche Los bearbeitet wird. Die Losgrößen betragen für die beiden stückzahlstarken Varianten je 3.600 Stück, für die dritte Variante 1.440 Stück und für die exotische Variante mit den sehr geringen Stückzahlen 720 Stück. Die Verfügbarkeit beträgt 85 Prozent. Entsprechend Gl. 2.8 errechnet sich der EPEI-Wert folgendermaßen zu knapp 11 Tagen:

$$EPEI_F = \frac{\left(\left(2 \times 3.600 + 1.440 + 770\right) \times 164\,\text{sec.}\right) + \left(4 \times 2 \times 2\,\text{h}\right)}{2 \times 85\,\%} = \frac{260\,\text{h}}{\left[24\,\text{h/d}\right]} \approx 10{,}8\,\text{d} \quad (2.10)$$

Beim Fräsen entsteht ein Ausschuss von 2 Prozent. Dadurch steigt der prozessspezifische Stückzahlbedarf. Das Kapazitätsangebot liegt höher, da die automatischen Fräsen auch während der Pausen laufen. Nach Gl. 2.7 ergibt sich für den Kundentakt beim Fräsen ein Wert von 106 Sekunden:

$$KT_F = KT \times \frac{AZ_P}{AZ} \times \left(\sum_{i=1}^{i=P} \uparrow i\right) = 94{,}5\,\text{sec.} \times \frac{24\,\text{h}}{21\,\text{h}} \times 98\,\% = 105{,}8\,\text{sec.} \quad (2.11)$$

mit: KT Kundentakt [Zeiteinheit]
↑ Gutausbeute [%]
AZ/AZ_P Arbeitszeit/AZ bezogen auf Produktionsprozess [%]

6. Wareneingang Prüfen Von jeweils drei Paletten à 240 Stück Rohgussteile werden Stichproben gezogen. Zusammen mit dem Handling ergibt sich ein Arbeitsaufwand von 60 Minuten für jeweils drei Paletten. Pro Stück ergibt sich die Bearbeitungszeit zu 60 min./720 Stck. = 5 Sekunden. Der Wareneingang steht auch für andere Gussteile zur Verfügung und arbeitet einschichtig (7 Stunden). Bei einem Mitarbeiter, der zu einem Viertel für diese Produktfamilie zur Verfügung steht, ergibt sich eine Zykluszeit von 20 Sekunden und wie beim Versenden ein prozessspezifischer Kundentakt von 31,5 Sekunden.

2.3.2 Materialfluss

Produktionsprozesse sind durch den *Materialfluss* logistisch verkettet. Der Materialfluss setzt sich aus den drei Komponenten Transportieren, Handhaben und Lagern zusammen. Lagern meint das zeitweilige Liegen von Materialien, Teilen und Erzeugnissen in einer entsprechenden Lagereinrichtung. Transportieren meint das Fortbewegen von Material, Teilen und Erzeugnissen zur Bereitstellfläche am nachfolgenden Produktionsprozess oder zu einem Lager. Handhaben meint die beim Ein- und Auslagern er-

forderlichen manuellen Tätigkeiten. Fallen diese in einem nennenswerten Umfang an, sind sie in einer Wertstromanalyse als eigener logistischer Prozess zu berücksichtigen (Abschn. 2.3.1). Andernfalls werden sie vernachlässigt, das heißt der Materialfluss wird ohne Bearbeitungszeiten aufgenommen. Somit sind beim Materialfluss zwei Aspekte darzustellen: Transport und Lagerfunktion.

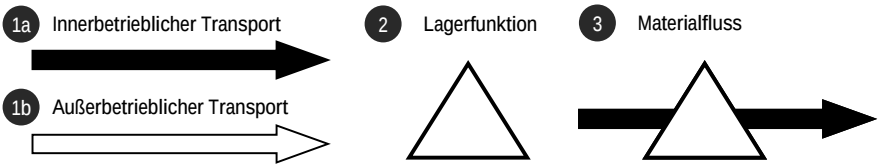


Abb. 2.22. Allgemeine Symbole für Transportieren und Lagern

1. Das *Transportieren* von einem Produktionsprozess zum jeweiligen Nachfolgeprozess wird mit Pfeilen dargestellt. Dabei sind grundsätzlich der innerbetriebliche Transport – symbolisiert durch einen schwarzen Pfeil – vom außerbetrieblichen Transport – symbolisiert durch einen breiten, innen weißen Pfeil – zu unterscheiden (Abb. 2.22, Fälle 1a und 1b). Die Pfeile können durch die Darstellung der Transportmittel oder der Ladeeinheiten spezifiziert werden.
2. Das *Lagern* zwischen zwei aufeinanderfolgenden Produktionsprozessen erfolgt entweder kurzzeitig als Puffern oder für eine längere Zeitdauer als Bevorraten oder Zwischenlagern. Die Lagerfunktion wird von einem aufrecht stehenden, gleichseitigen Dreieck symbolisiert (Abb. 2.22, Fall 2). Folgende Abkürzungen für unterschiedliche Lagerfunktionen, die man gut das Dreieckssymbol eintragen kann, haben sich bewährt: FWL (Fertigwarenlager), HRL (Hochregallager), HF (Halbfabrikatelager), Roh (Rohmateriallager), WIP (Work in Process). Das Lagersymbol ist durch einen Datenkasten zu ergänzen.
3. Der *Materialfluss* wird dargestellt durch Überlagerung beider Symbole (Abb. 2.22, Fall 3). Der Materialfluss ist in seiner Ausprägung stark abhängig von der zugehörigen Planungs- und Steuerungslogik. Informations- und Materialfluss bilden gemeinsam die logistische Verknüpfung. Je nach Art dieser Verknüpfung werden Lagersymbol und Transportpfeil anders dargestellt (Abschn. 2.3.3). Ein Materialfluss kann sich auch verzweigen.

Falls sich ein Materialfluss in alternative Wege verzweigt, trägt man die stückzahlbezogene Aufteilung prozentual am *Verzweigungssymbol* ein (Abb. 2.23, Fall 1). Beim erneuten Zusammenfluss von Teilströmen erübrigt sich das Symbol, da es keinen Schwund geben sollte.

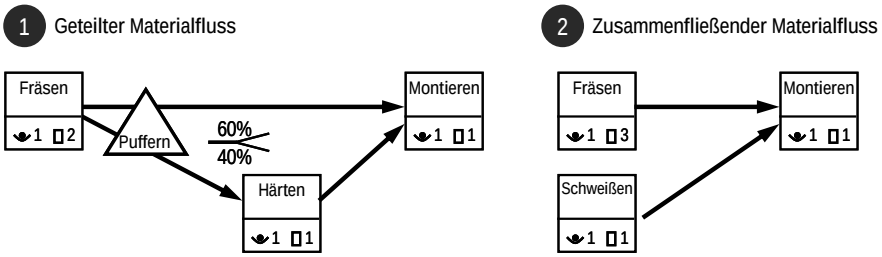


Abb. 2.23. Verzweigter Materialfluss

Die Produktionsprozesse, die logisch gesehen parallel erfolgen, zeichnet man übereinander angeordnet in die Wertstromdarstellung ein. Montierte Produkte bestehen oft aus mehreren komplexen und werthaltigen Teilen, die in unterschiedlichen Produktionsprozessen vor der Montage bearbeitet werden. In diesem Fall besteht der Wertstrom aus mehreren parallel verlaufenden Flüssen, die dann im Fügeprozess der Endmontage zusammenfließen (Abb. 2.23, Fall 2). Falls es alternative Zuströme gibt, beispielsweise ein Aluminium- oder ein Kunststoffgehäuse, dann kann man das Verzweigungssymbol spiegelsymmetrisch mit den entsprechenden Prozentanteilen einzeichnen.

Fördern und Transportieren

Der mit den Materialflusspfeilen symbolisierte Transport kann hinsichtlich der Transportmittel spezifiziert werden. Es sind die drei grundsätzlichen Möglichkeiten werksexterner Lkw-Transport, werksinterner Gabelstapler-Transport und Fördertechnik zu unterscheiden (Abb. 2.24). Der Transport erfolgt in Ladeeinheiten auf Ladungsträgern. Falls hinsichtlich der Transportmengen gewisse Standards bestehen, kann man den Materialflusspfeil ferner mit einem Behältersymbol, ein oben offenes Rechteck, ergänzen und die jeweilige *Gebindemenge* eintragen.

1. Übliches Transportmittel für den Transport außerhalb des Werksgeländes ist der *Lkw*, dargestellt durch ein entsprechendes Piktogramm (Abb. 2.24, Fall 1). Der Auflieger im Symbol wird beispielsweise mit dem Namen der Spedition näher gekennzeichnet. Alternativ kann hier auch entsprechend der jeweiligen Gegebenheiten Selbstabholer oder Expressdienst notiert werden. Das Transporthilfsmittel ist im Wesentlichen charakterisiert durch die Anzahl der Teile oder Erzeugnisse pro Ladungsträger. Die Anzahl von Teilen auf Paletten, in Gitterboxen, Kartonagen, Holzkisten, Mehrwegbehältern oder teilespezifischen Spezialbehältern wird mit der Gebindemenge festgehalten. Die *Lie-*

ferfrequenz gibt an, wie häufig Fertigprodukte zum Kunden transportiert oder Rohmaterialien vom Lieferanten angeliefert werden. Alternativ sind hier die entsprechenden Wochentage des Tourenplans oder auch der Rhythmus regelmäßiger Lieferungen, wie beispielsweise wöchentlich, einzutragen.

2. Für den innerbetrieblichen Transport werden unterschiedliche Transportmittel verwendet; typisch ist der Gabelstapler (Abb. 2.24, Fall 2). Alternativ lassen sich auch Hubwagen oder Fahrerlose Transportsysteme für den Verkehr innerhalb einer Halle sowie Trailer für den hallenexternen Verkehr skizzieren. Hier existiert zuweilen auch ein Fahrplan. Wenn der Materialfluss durch eine Lagerfunktion unterbrochen ist, entfällt meist das mehr oder weniger wirklichkeitsgetreue Piktogramm, damit Platz für das Lagersymbol ist (Abb. 2.22, Fall 3).
3. Produktionsprozesse können auch durch Fördertechnik – beispielsweise Rollenband, Fließband oder Hängebahn – fest verkettet sein. Dieser Spezialfall lässt sich gut mit einem gerichteten Streifen darstellen (Abb. 2.24, Fall 3). Die Förderanlage hat in der Regel eine definierte Anzahl an Ladungsträgern oder bietet mit Staubändern definierter Länge einer bestimmten Maximalanzahl von Ladungsträgern Platz. Diese maximale Teilemenge (max. TM) erfüllt eine Pufferfunktion und wird als Bestandswert zwischen zwei Produktionsprozessen aufgenommen.

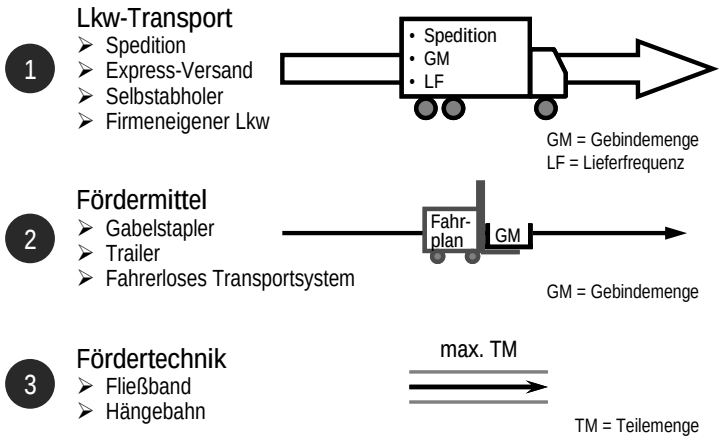


Abb. 2.24. Materialflusspfeile mit Darstellung der Transportmittel

Lagern und Bestände

Zu jedem Lager gehört – ähnlich wie beim Produktionsprozess – ein *Datenkasten* (Abb. 2.25). Zunächst einmal kann man die Bezeichnungen für die zur jeweiligen Lagerfunktion gehörenden Lagermittel eintragen. Dies ist ein bestimmter Lagerplatz mit der zugehörigen Lagertechnik wie ein automatisches Hochregallager, ein Regallager, ein Durchlaufregallager, ein Bodenlager, ein Paternosterlager und anderes mehr. Unter dem Lagerort ist die alphanumerische Identifikation des Lagers im EDV-System zu verstehen. Ferner anzugeben ist die Bezeichnungen der bestandsmäßig erfassten Einkaufs-Materialien, Zwischenprodukte oder Teile. Die jeweilige *Lagerkapazität* lässt sich grob über die Anzahl an Lagerplätzen angeben.

Bezeichnung	Lager, Lagerort
Bezeichnung	Material
# LP	Anzahl Lagerplätze
BM	Bestands-Menge
# T	Anzahl Teile je Produkt
RW	Reichweite

Abb. 2.25. Datenkasten für die Lagerfunktionen

Wichtigstes produktionsablaufbezogenes Merkmal eines Lagers ist der *Bestand*. Zum Bestand gezählt werden die zu allen Varianten der betrachteten Produktfamilie gehörenden Vorfertigungs-Teile. Nach Möglichkeit sollten hier nicht lediglich die im EDV-System erfassten Mengen abgefragt werden, sondern der Wertstromerfasser sollte selbst zählen, die Gegebenheiten vor Ort – wie bei der Zeitaufnahme – mit eigenen Augen erfassen. Dadurch lassen sich einerseits Datenfehler erkennen, andererseits gibt es oftmals bisher unbekannte Lagerorte zu entdecken und der Bestand wird in seinen realen Auswirkungen, in Platzbedarf, Anordnung, Verteilung und Zugänglichkeit spürbar. Die gezählten Mengen werden mit der Bestandsmenge angegeben.

Die für die Wertstromanalyse entscheidende Aussage liegt nun in der Zeitdauer, für die der Bestand zur Erfüllung des durchschnittlichen Kundenbedarfs ausreichend ist. Die *Reichweite* (RW) des jeweiligen Bestandes berechnet man durch einfache Division der Bestandsmenge durch die Jahresabsatzmenge. Dabei ist zu berücksichtigen, wie viele Gleichteile je Produkt benötigt werden. Die Reichweite wird in der Regel in Tagen angegeben, errechnet durch Multiplikation mit der Zahl der Fabriktage:

$$RW = \frac{BM}{\#T \times Stck} \times FT$$

mit: RW Reichweite [d]
BM Bestandsmenge [Stck.]
Stck Jahresabsatzmenge [Stck/a]
FT Fabriktage [d/a]
T Anzahl Gleichteile pro Produkt (2.12)

Als relative Größe ist die Reichweite eine wesentlich aussagekräftigere Kennzahl als die absolute Größe der Bestandsmenge. Das zeigt sich insbesondere bei der Abschätzung der Verbesserungspotentiale (Abschn. 2.4).

Versenden und Lieferanten

Der Materialflusspfeil des außerbetrieblichen Transportes verbindet die innerbetrieblichen Abläufe des betrachteten Wertstroms mit den werksexternen Quellen und Senken von Material und Produkten. Der letzte Produktionsprozess im Wertstrom ist in der Regel das ‚Verladen & Versenden' und wird mit dem Kunden durch einen Materialflusspfeil verbunden. Je weiter man sich von der Großserienfertigung entfernt, desto vielfältiger wird auch das Kundenspektrum sowohl hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Empfänger als auch hinsichtlich der aus Transportart und Kundenwunsch resultierenden *Lieferanforderungen*. Diese wirken sich in Form unterschiedlicher logistischer Anforderungen auf den gesamten Produktionsablauf aus. Daher sollten gegebenenfalls vermerkt werden:

- das in Abhängigkeit von der geforderten Lieferzeit und der Entfernung zum Kunden erforderliche Transportmittel,
- der Tourenplan mit entsprechenden Lieferfrequenzen,
- die geforderte Versandart, beispielsweise Selbstabholer, (fremd-)beauftragte Spedition, Firmen-Lkw, Express-Versand,
- die geforderte Verpackungsart, beispielsweise Holzkisten für den Übersee-Versand, Kartonage für europäisches Ausland oder Behälterkreislauf im Inland,
- die geforderte Lieferzeit, beispielsweise 24h-Service, Bestellabruf an bestimmten Wochentagen, Lieferzeit laut Katalog sowie
- die geforderte Lieferqualität hinsichtlich Menge (zulässige Überlieferung) und Termintreue (Pennale).

Der erste Produktionsprozess im Wertstrom ist in der Regel das ‚Waren Vereinnahmen'. Die Anlieferung der Waren wird mit Materialflusspfeil und Lkw-Symbol dargestellt. Der Materialflusspfeil der Anlieferung geht aus vom Symbol des Lieferanten – dargestellt ähnlich wie der Unterliefe-

rant als Fabrikhalle mit Scheddach (Abb. 2.26). Im *Lieferantensymbol* eingetragen wird der Name des Lieferanten mit jeweiligem Standort. Hinzu kommt die Bezeichnung des gelieferten Rohmaterials beziehungsweise der gelieferten Kaufteile sowie die Anzahl der unterschiedlichen Typen eines Materials beziehungsweise Kaufteiles. Da es mitunter sehr viele Lieferanten für sehr viele verschiedene Materialien gibt, werden nur diejenigen Lieferanten eingezeichnet, die Kaufteile und Rohmaterialien liefern, die von zentraler Bedeutung für den jeweiligen Wertstrom sind. Dies können die Hauptkomponenten sein oder auch die mittels einer ABC-Analyse ermittelten Materialien, die aufgrund hoher Einkaufspreise sorgfältig disponiert werden müssen. Ferner benötigen kritische Teile mit eingeschränkter Verfügbarkeit, hervorgerufen durch Knappheit im Einkaufsmarkt oder als Folge schwankender Qualität, besondere Aufmerksamkeit.

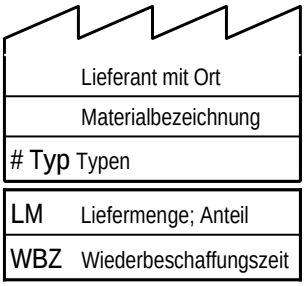


Abb. 2.26. Lieferantensymbol mit Datenkasten

Zur Beschreibung der Lieferleistung dient ein Datenkasten. Darin angegeben werden die gesamte Liefermenge pro Jahr sowie der prozentuale Lieferanteil des jeweiligen Lieferanten an der Gesamtmenge des betreffenden Materials. Meist empfiehlt es sich, alle Lieferanten eines Teiletyps in einem Symbol zusammenzufassen und dann in dieser Zeile die Aufteilung der Liefermenge anzugeben. Die Verfügbarkeit der Einkaufsteile wird bestimmt durch ihre *Wiederbeschaffungszeit* (WBZ). Darin fließen der Zeitbedarf für die Bestellabwicklung, den Transport und die vom Lieferanten garantierte Lieferzeit ein.

Bei der Wertstromaufnahme wird zusammen mit den Produktionsprozessen der Materialfluss zwischen diesen gleich mit erfasst. Lediglich aus Gründen der Darstellung sind hier zunächst alle Produktionsprozesse (Abb. 2.21) und dann erst der Materialfluss analysiert. Alle Produktionsprozesse werden nun materialflusstechnisch mit Lagersymbol und dunklem Materialflusspfeil verbunden. Die Bestände werden gezählt, eingetragen und in Reichweiten umgerechnet. Die Lieferanten werden oben links in der Wertstromzeichnung in gleicher Höhe mit den Kunden dargestellt.

Lieferanten und Kunden werden mit Lkw-Symbol und hellem Materialflusspfeil an den Wertstrom angebunden (Abb. 2.27). In der Darstellung erscheint der werksexterne Verkehr gewissermaßen als ein ‚vertikaler' Materialfluss, während er betriebsintern ‚horizontal' verläuft.

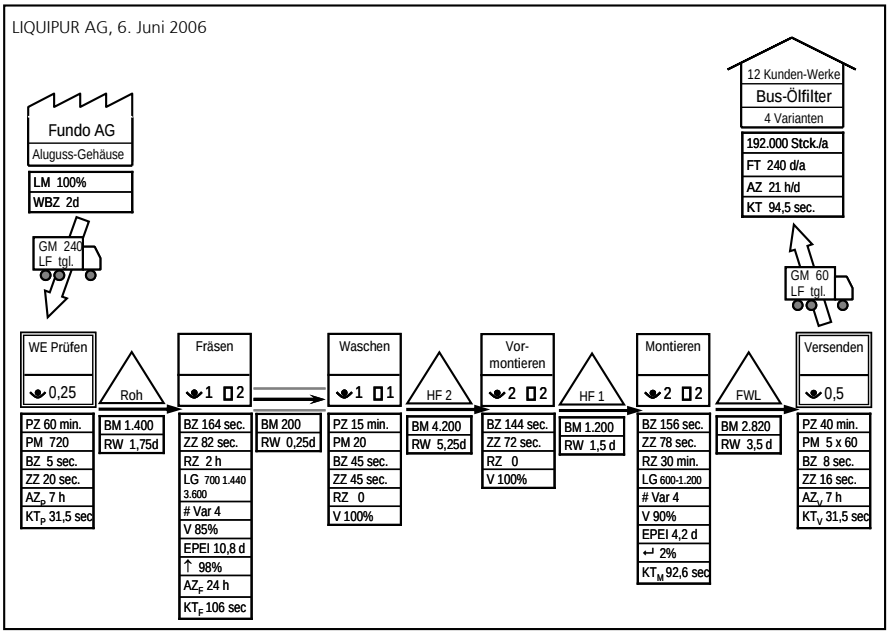


Abb. 2.27. Wertstromaufnahme bei Liquipur (3): Materialfluss und Lieferanten

Fallbeispiel Bei *Liquipur* werden Bestände zwischen allen Produktionsprozessen, also an fünf Stellen, gezählt. Die Umrechnung auf die Reichweite in Tagen erfolgt durch Division mit dem Tagesbedarf von 800 Ölfiltern. Die aufgenommen Daten werden alle in die Wertstromdarstellung eingetragen (Abb. 2.27).

1. **Fertigwarenlager** Es sind 47 Ganzpaletten mit 2.820 Ölfiltern vorhanden. Die Reichweite beträgt etwa 3,5 Tage.
2. **Halbfabrikate 1** Vor und beim Montieren werden zwei Varianten mit zusammen 1.200 Stück vormontierten Ölfiltern gezählt. Das entspricht einer Reichweite von 1,5 Tagen.
3. **Halbfabrikate 2** Vor und beim Vormontieren findet sich ein Bestand von etwa 4.200 Stück bearbeiteten Gehäuseteilen in allen vier Varianten. Das entspricht einer Reichweite von 5,25 Tagen.
4. **Waschen** Die gefrästen Gehäuseteile werden unmittelbar gewaschen. Vor der Waschmaschine ist ein Puffer von 200 Teilen, was einer Reichweite von 0,25 Tagen entspricht.
5. **Rohgusslager** Da täglich angeliefert wird, konnte der Rohmaterialbestand bereits im Vorfeld der Wertstromanalyse deutlich gesenkt werden. Am Tag

der Wertstromaufnahme beträgt er 1.400 Stück, das sind 1,75 Tage Reichweite.

Der werksexterne Transport bei *Liquipur* wird mit Lkw abgewickelt. Das Aluminium-Druckguss-Gehäuse wird von der Fundo AG in Paletten à 240 Stück täglich angeliefert. Die Bestellung muss zwei Tage vor Lieferung erfolgen. Der Versand erfolgt täglich in Paletten mit jeweils 60 Ölfiltern.

Materialfluss

Zwischen zwei Produktionsprozessen muss für den erforderlichen Teiletransfer immer eine *Transportverbindung* eingezeichnet werden. Andernfalls liegt ein integrierter Produktionsprozess vor, und dann ist zur Modellierung nur ein Prozesskasten erforderlich. Diese Regel hilft, eine logistisch stimmige Wertstromdarstellung zu zeichnen. Das Transportieren wird je nach Art der logistischen Verknüpfung mit unterschiedlichen Pfeilen dargestellt. Das Verzweigungssymbol zeigt die prozentuale Aufteilung bei verzweigten Materialflüssen.

Der innerbetriebliche Materialfluss zwischen zwei technischen Prozessen wird in der Regel durch einen *Lagerprozess* unterbrochen. Die Lagerfunktion wird durch ein Dreieck symbolisiert, wenn es sich um eine disponierte Bevorratung handelt. Puffer und besondere Bevorratungsstrategien werden anders symbolisiert (Kap. 3).

Der jeweils gelagerte Bestand wird bei der Wertstromaufnahme gezählt und in die auf den Kundenbedarf bezogene *Reichweite* umgerechnet.

Über den werksexternen Materialfluss sind Kunden und *Lieferanten* mit dem betrachteten Wertstrom verknüpft. Zentrale Merkmale der externen Logistik sind *Lieferfrequenz* und *Wiederbeschaffungszeit* der Rohmaterialien und Kaufteile.

2.3.3 Auftragsabwicklung

Damit die Produktionsprozesse (Abschn. 2.3.1) arbeiten können und das Material (Abschn. 2.3.2) ins Fließen kommen kann, werden steuernde und/oder regelnde Informationen benötigt. Diese Informationen werden von den *Geschäftsprozessen* verarbeitet und bereitgestellt. In der bekannten Literatur zum Wertstromdesign (Rother 2000) wird nur ein einziger Geschäftsprozess verwendet, nämlich die Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Damit werden dann alle informationsverarbeitenden Aufgaben summarisch als Black Box mit Namen ‚PPS' dargestellt (Abb. 2.28). Diese extreme Vereinfachung hat sich in der Anwendung von Wertstromanalyse und auch Wertstromdesign nicht bewährt, da die Auftragsabwicklung doch

ein wesentlich komplexerer Prozess ist, der an mehreren Stellen mit ganz unterschiedlichen Aufgaben und Tätigkeiten in den Produktionsablauf eingreift. Daher soll im Folgenden eine deutlich erweiterte Darstellung präsentiert werden.

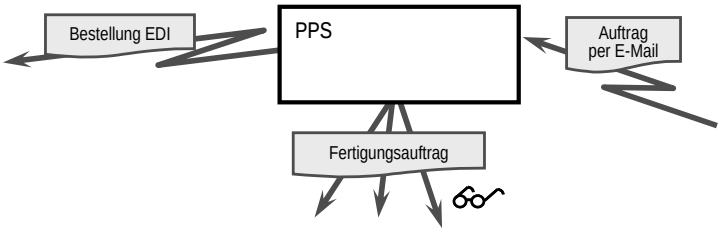


Abb. 2.28. Vereinfachter Informationsfluss der traditionellen Wertstromanalyse

Neuere Bestrebungen, im Sinne der sogenannten ‚Lean Administration' Geschäftsprozesse in Analogie zu den Produktionsprozessen als eigenen Wertstrom darzustellen (Wiegand 2004), können dieses Manko nicht lösen. Diese analoge Anwendung des Wertstromdesigns für administrative Prozesse beispielsweise bei Dienstleistungsunternehmen dient dazu, reine Dienstleistungsprozesse in ihrem Ablauf darzustellen und zu verbessern. Die im Rahmen der *Auftragsabwicklung* eines produzierenden Unternehmens anfallenden Aufgaben können so aber nicht, oder jedenfalls nicht in ihrem Bezug zur Produktion dargestellt und optimiert werden. Aus diesen Gründen werden die Geschäftsprozesse, die in produzierenden Unternehmen im Rahmen der Auftragsabwicklung erforderlich sind, hier in einer detaillierteren Darstellung und Beschreibung als in der bisher bekannten Wertstrommethode berücksichtigt. Dabei bleiben sie in den produktiven Wertstrom eingebunden, wie es sich bereits in Praxisprojekten bewährt hat. Im Ergebnis erhält man eine deutlich verbesserte Analyse der Auftragsabwicklung. Die Anwendung auf reine Dienstleistungsunternehmen soll hier nicht betrachtet werden.

Die Auftragsabwicklung bei der Wertstromanalyse ist unter drei Aspekten zu betrachten, die in den folgenden Abschnitten näher untersucht werden sollen:

1. Geschäftsprozesse erzeugen, verarbeiten und speichern Informationen, die zur Erfüllung von Kundenaufträgen sowie zur Planung und Steuerung der Produktion benötigt werden.
2. Der Informationsfluss übermittelt Daten und Dokumente zwischen den Geschäftsprozessen, zu Kunden und Lieferanten sowie zu den Produktionsprozessen.

3. Die logistische Verknüpfung beschreibt das Zusammenwirken von Informations- und Materialfluss zur Verknüpfung zweier aufeinanderfolgender Produktionsprozesse.

Geschäftsprozesse

Geschäftsprozesse werden durch ein Rechteck symbolisiert und mit der Geschäftsprozessbezeichnung identifiziert (Abb. 2.29). Die Anzahl der mit den zugehörigen Geschäftsvorgängen befassten Mitarbeiter kann hinter dem Symbol mit stilisiertem Kopf und Armen angegeben werden. Ziel der Geschäftsprozessaufnahme ist nicht so sehr die detaillierte Darstellung des gesamten Arbeitsablaufes auf Einzelschrittebene (Auftrag anlegen, Artikelnummern eingeben und prüfen, Lieferadresse aufrufen, Verfügbarkeit prüfen und Liefertermin eintragen, Druck Auftragsbestätigung auslösen), sondern vielmehr die übersichtliche Darstellung des Gesamtablaufs. Im Beispiel der Auftragserfassung würde demnach ein Prozesskasten ausreichen, ähnlich wie auch Produktionsprozesse immer mehrere Tätigkeiten zusammenfassen. Jeder Geschäftsprozess sollte durch die wichtigsten zu erledigenden Aufgaben in einer *Aufgabenliste* näher beschrieben werden.

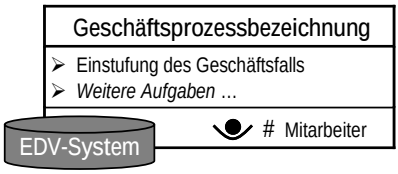


Abb. 2.29. Symbol für Geschäftsprozesse

Von zentraler Bedeutung für die Beschreibung eines Geschäftsprozesses ist die Einstufung des jeweiligen *Geschäftsfalls* in zugehörige Kategorien. So können Aufträge beispielsweise unterschiedliche Auftrags-Status respektive Prioritäten – wie eilig, normal oder ‚Chef-Auftrag' – erhalten, die dann im Prozesskasten anzugeben sind. Ein anderes Beispiel für eine Aufgabe in der Auftragsabwicklung ist die Festlegung des Auftragstyps – wie Lagerergänzungsauftrag, Planauftrag, Nacharbeitsauftrag, Kundenauftrag, Produktionsauftrag, Fertigungsauftrag – oder auch die Festlegung der Versandart, des Freigabestatus und andere. Diese Fallunterscheidungen bestimmen einerseits die Wege, die der vom jeweiligen Geschäftsprozess ausgehende Informationsfluss jeweils nimmt. Andererseits erfassen sie die wesentliche Charakteristik des Produktionsablaufes.

In der Regel wird ein *Datenverarbeitungssystem* zur Unterstützung des Arbeitsablaufes verwendet, mit Funktionen zur Datenspeicherung, Datenverarbeitung sowie Datenausgabe. Geeignet zur symbolischen Darstellung

der EDV-Systeme ist der Zylinder, der bereits in Flussdiagrammen verwendet wird. In das Symbol eingetragen wird die Bezeichnung des verwendeten Systems. Das können einerseits handelsübliche Systeme, wie Enterprise Ressource Planning (ERP), Manufacturing Execution Systems (MES) oder PPS-Systeme sein, andererseits unternehmensspezifische Eigenentwicklungen mit ähnlichen Aufgaben. Oftmals findet man auch Datenbanken und Tabellenkalkulationsprogramme mit spezifischen Bedienermasken vor, die den Arbeitsablauf in eher rudimentärer Weise unterstützen, aber durchaus ausreichend sein können. Hinzu kommen jene EDV-gestützten Tools, die die Produktkonfiguration oder die Produktionsprozessführung – beispielsweise Verschnittoptimierung, Steuerdatenberechnung, Qualitätsdatenerfassung, Kennzahlenreporting – oder auch die Kundenanbindung ermöglichen – beispielsweise Customer Relation Management-Lösungen (CRM), Programme zur Versandabwicklung mit Kostenermittlung und Tracking, Programme für die Exportabwicklung.

Die Wertstromanalyse zeigt hierbei oft, dass im Betrieb mehrere EDV-Systeme parallel mit ähnlichen Funktionalitäten eingesetzte werden. Das ist oftmals in mangelhafter Funktionalität des Hauptsystems, in unzureichender Schulung der Bediener oder in fehlender Akzeptanz durch die Mitarbeiter begründet. Folge sind häufig Inkonsistenzen zwischen den mehrfach unabhängig gespeicherten Daten.

Abb. 2.30. Darstellung der Warteschlange von Aufträgen

Auch in der Auftragsabwicklung gibt es Bestände, die in der Summe den Auftragsbestand bilden (Abb. 2.30). Vor dem aus Kundensicht ersten Geschäftsprozess, der Auftragserfassung, befindet sich der Auftragseingang. Vor diesem und jedem anderen Geschäftsprozess stapeln sich mehr oder weniger viele Aufträge in der sogenannten ‚IN-Box'. Die symbolische Darstellung zeigt einen Kasten mit angedeutetem Papierstapel. Im zugehörigen Datenkasten wird die Anzahl der ‚gelagerten', das heißt wartenden, Aufträge angegeben. Mit Hilfe des für das Schichtmodell der Produktion geltenden Kundentaktes lässt sich die Reichweite des jeweiligen Auftragsstapels errechnen. Diese Reichweite entspricht dem Auftragsbestand des jeweiligen Wertstroms, ausgedrückt in der Länge der *Warteschlange* (W) und berechnet durch:

$$W = \#A \times KT \tag{2.13}$$

mit: W Warteschlange [Zeiteinheit]
A Anzahl wartender Aufträge
KT Kundentakt [Zeiteinheit]

Informationsfluss

Ähnlich wie Produktionsprozesse über das Transportieren von Materialien und Teilen mit dem Materialfluss verbunden sind, sind Geschäftsprozesse über das Weiterreichen von Daten und Dokumenten mit dem Informationsfluss untereinander verbunden. Ferner gibt es Informationsflüsse von Geschäftsprozessen hin zu Produktionsprozessen, um diese sowie den jeweiligen Materialfluss zu steuern. Die Verknüpfungen des Informationsflusses werden mit einem einfachen, dünnen Pfeil symbolisch dargestellt (Abb. 2.31a). Für die Betrachtung des Produktionsablaufes ist wichtig, welche Informationen in welchem Format übermittelt werden. Es hat sich bewährt, dies in jeweils eigenen Symbolen anzugeben. Diese Symbole werden dann auf den jeweils zugehörigen *Informationsflusspfeil* gezeichnet. Die übertragenen Informationen und ihr Format können unter ablauflogischen Gesichtspunkten in vier Kategorien klassifiziert werden – Daten, Dokumente und Listen sowie informelle Abstimmung mit jeweils eigenen *Informationssymbolen*:

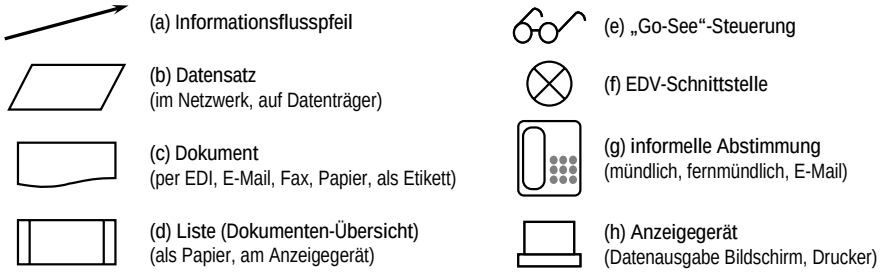


Abb. 2.31. Symbole für die Darstellung des Informationsflusses

1. Einfache Daten und *Datensätze* werden ausschließlich in elektronischer Form über Netzwerk-Kabel oder Datenträger wie CD-ROM oder USB-Stick übertragen. Sie dienen entweder zum Datentransfer zwischen unterschiedlichen DV-Systemen oder als Steuerdaten für CNC-Maschinen. Letztere basieren auf den geometrischen Daten des jeweils zu fertigenden Produktes. Datensätze werden in Anlehnung an Flussdiagramme mit einem Parallelogramm symbolisch dargestellt (Abb. 2.31b). In dieses Datensatz-Symbol werden dann Bezeichnung

und Funktion eingetragen. Sofern ein automatischer Datentransfer ohne zwischengeschaltete manuelle Dateneingabe zwischen unterschiedlichen EDV-Anwendungen erfolgt, liegt eine *Schnittstelle* vor. Diese wird symbolisiert mit einem durchgekreuzten Kreis (Abb. 2.31f).

2. Sind die auftragsspezifischen Daten in Formulare eingetragen, so erhält man *Dokumente*. Diese Dokumente können auf vielfältige Weise übermittelt werden, per Electronic Data Interface (EDI), E-Mail, Fax oder konventionell auf Papier – ausgedruckt oder manuell ausgefüllt. Die Papierform ist häufig sinnvoll als Materialbegleitschein, um zugleich die Identifikation des jeweils gesteuerten Materialflusses zu ermöglichen. Zumeist am besten zur Identifikation geeignet sind auf Produkte, Behälter oder Verpackungen aufgebrachte Etiketten, die dann zusätzlich noch die Steuerungsfunktionen übernehmen können. Dokumente sind wie bei Flussdiagrammen symbolisiert durch ein Recheck mit geschwungener Unterkante, dem Dokumenten-Symbol (Abb. 2.31c).
3. *Listen* verschaffen einen Überblick über die zu einem Geschäftsfall zugehörigen Dokumente. Ferner können sie auch Reihenfolgen, Prioritäten oder andere Klassifizierungen der Geschäftsvorfälle angeben. Typische Beispiele sind hier Produktionspläne, Abarbeitungslisten für die einzelnen Produktionsprozesse, Kommissionierlisten, Versandlisten und Ladelisten. Symbolisch dargestellt werden diese Listen als Rechteck mit doppeltem Rand (Abb. 2.31d). Listen können wie die Dokumente als Ausdruck verteilt oder auf einem *Anzeigegerät* zugänglich gemacht werden (Abb. 2.31h). Rückmeldungen von Zeiten, Qualitätsdaten oder anderen in der Produktion erzeugten Informationen sind häufig manuell in entsprechende Listen einzutragen.
4. Der Informationsfluss wirkt über die Daten, Dokumente und Listen steuernd auf die Produktionsprozesse ein. Diese richten sich entweder exakt nach den Vorgaben der Geschäftsprozesse oder sie nehmen eigenständig Veränderungen und Anpassungen an die täglichen Gegebenheiten vor. Mit dieser auf dem Shop Floor vorgenommenen *„Go-See“-Planung* kann bei von Störungen verursachten Planabweichungen dezentral mit einer ungeplanten Anpassung des Produktionsplanes reagiert werden. Das Symbol für diese kurzfristigen Eingriffe vor Ort ist eine Brille (Abb. 2.31e). Es steht für die Flexibilität – und Unkalkulierbarkeit – einer Produktion.

   Ein Sonderfall, der im Produktionsalltag gerne zur regelmäßig ausgeübten Praxis wird, ist die *informelle Abstimmung* zwischen zwei Prozessen. Hierbei werden entweder Rückfragen aufgrund von Mängeln in den Daten (selten), Dokumenten (häufig) oder Listen bearbeitet

oder es müssen Sonderfälle, die mit den vordefinierten Dokumenten nicht formal erfasst werden können, geklärt werden. Der Informationsfluss ist dabei beidseitig ausgerichtet; der Informationsflusspfeil erhält eine Doppelspitze. Für solche Abstimmungsprozesse eignet sich als symbolische Darstellung ein Telefon-Piktogramm (Abb. 2.31g), gerne auch, wie andernorts dargestellt, mit Wählscheibe.

Werden zwischen zwei Prozessen mehrere Dokumente, Daten oder Listen in die gleiche Richtung übertragen, dann ist ein gemeinsamer Informationsflusspfeil ausreichend. Die übliche Verwendung von Pfeilen mit einem Zick-Zack-Blitz, der die elektronische Datenübertragung symbolisieren soll, führt in der Regel zu sehr unübersichtlichen Darstellungen – insbesondere bei sich kreuzenden Informationsflüssen, was nicht immer vermieden werden kann. Das hat dann Zuordnungsprobleme zur Folge und ist außerdem zeichnerisch aufwendiger.

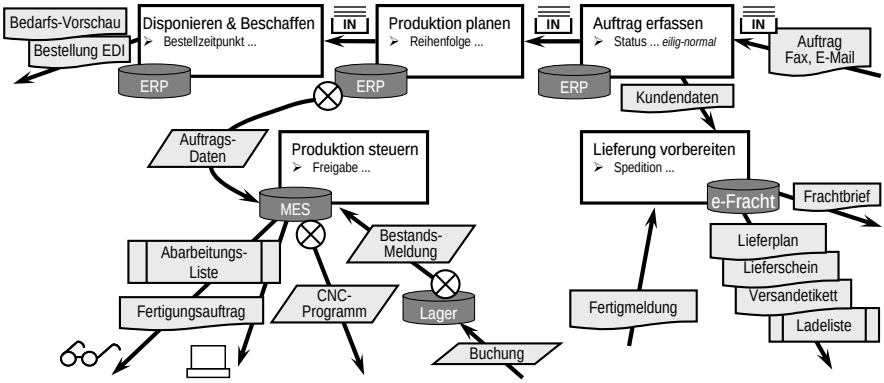


Abb. 2.32. Umfangreicher Informationsfluss

Mit den vorgestellten Informationssymbolen kann nun der Informationsfluss in einem produzierenden Unternehmen dargestellt werden (Abb. 2.32). Das schematische Beispiel zeigt die Auftragsabwicklung gegliedert in *fünf typische Geschäftsprozesse*. Diese stehen teilweise in einem hierarchischen Verhältnis zueinander. Bei der Aufnahme des Informationsflusses im zweiten Durchgang der Wertstromanalyse beginnt man rechts beim Kunden und schreitet bis zum Lieferanten fort. In der obersten Ebene sind das die drei Geschäftsprozesse ‚Auftrag erfassen', ‚Produktion planen' sowie ‚Material disponieren und beschaffen'. Diese werden im Beispiel alle vom gleichen ERP-System unterstützt. Anschließend geht man eine Ebene tiefer und ergänzt die beiden Geschäftsprozesse ‚Produktion steuern' und ‚Lieferung vorbereiten' zum Versenden. Die Produktionssteue-

rung leistet in diesem Fall ein MES-System, es könnte auch ein Leitstand sein.

Es gibt weitere Subsysteme, die wie die Lagerverwaltung über Schnittstellen angebunden sein können, oder wie das Speditionssystem ‚e-Fracht' eine Insellösung darstellen. Im Beispiel nicht dargestellt ist der den Produktionsablauf meist wenig beeinflussende Geschäftsprozess ‚Fakturieren'. Auch übergeordnete, von einzelnen Geschäftsvorfällen unabhängige, grundlegende Geschäftsprozesse wie ‚Produktionsprogramm langfristig planen', ‚Personal einstellen' oder ‚Arbeit vorbereiten' mit Arbeitsplanerstellung und dergleichen brauchen in einer Wertstromdarstellung in der Regel nicht aufgenommen zu werden. Sie dienen mehr der Auslegung des Wertstroms und weniger seinem Betrieb.

Zwischen den Geschäftsprozessen sind die entsprechenden Informationsflüsse mit den zugehörigen Informationssymbolen eingetragen. Die Kundenaufträge kommen per Fax oder E-Mail und warten auf ihre Erfassung, die sie unter anderem auch der Dringlichkeit nach klassifiziert. Materialbestellungen werden per EDI an den Lieferanten übermittelt. In der Produktion erhält ein Produktionsprozess CNC-Programme überspielt. Gesteuert wird die Produktion mit Fertigungsaufträgen, deren Reihenfolge in Abarbeitungslisten vorgegeben ist. Diese kann situativ angepasst werden, wie die ‚Go-See'-Brille zeigt.

Logistische Verknüpfung

Da die Art der Produktionsplanung und -steuerung den Materialfluss entscheidend beeinflusst, werden auch die Materialfluss-Symbole der jeweiligen Steuerungslogik angepasst. Material- und Informationsfluss bilden eine Einheit, da es einen Materialfluss ohne Informationsfluss – wie bei einem umfallenden Stapel Kisten – nie geben sollte. Diese *logistische Verknüpfung* hat bei der klassischen Produktionsplanung mit MRP-Systemen drei tragende Elemente, die vorbereitende Produktionsplanung, die auslösende Übermittlung des Produktionsplanes an die Produktionsprozesse sowie den resultierenden Materialfluss. Der Materialfluss ist bei dieser Art der logistischen Verknüpfung bloßes Ergebnis einer mehr oder minder plangemäßen Produktionsausführung. Die Produktionsprozesse ‚schieben' die von ihnen jeweils fertig bearbeiteten Halbfabrikate in Richtung ihres jeweiligen Folgeprozess. Da dieser Prozess seinem eigenen Produktionsplan folgt, werden die Halbfabrikate zunächst auf Lager gelegt. Aus diesem so erzeugten plangemäßen Bestand bedient sich der Folgeprozess.

Diese Vorgehensweise wird gemeinhin als ‚Push-Produktion' bezeichnet. Dies ist allerdings ungenau und irreführend. So werden auch bei der FIFO-Verkopplung Halbfabrikate zum Folgeprozess ‚geschoben', obwohl

es dabei kein zwischengeschaltetes Lager gibt (Abschn. 3.3.1). Ferner gibt es auch eine verbrauchsgesteuerte Disposition, die mit einem beplanten Lager arbeitet, aber eher als ‚Pull-Produktion' zu bezeichnen wäre. Deshalb wird hier in beiden Fällen von einer *planungsorientierten* Produktion gesprochen.

Bedarfsgesteuerte Disposition Die planungsorientierte Produktion arbeitet in der Regel *prognosebasiert*. Dieses Verfahren führt zu einer *bedarfsgesteuerten* Disposition von Halbfabrikaten oder Fertigprodukten. Dieses Verfahren lässt sich besonders einfach bei Serienprodukten anwenden, wobei das Risiko von Fehlprognosen mit steigender Variantenanzahl zunimmt. Bei einer kundenauftragsorientierten Produktion werden nach diesem Verfahren Halbfabrikate prognoseorientiert vorproduziert, damit einerseits Lieferfristen verkürzt, andererseits aber auch Skaleneffekte durch die Losgrößenbildung genutzt werden können.

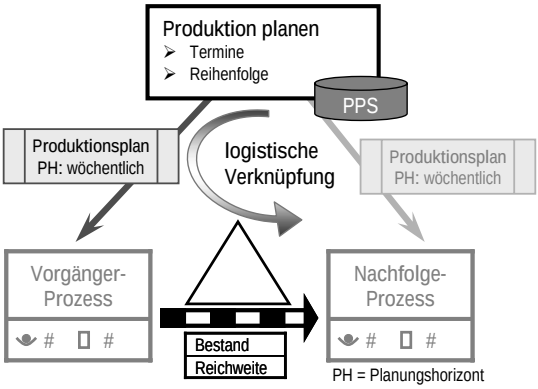


Abb. 2.33. Prognoseorientierte logistische Verknüpfung

Die planungsorientierte logistische Verknüpfung ist wie folgt symbolisch darzustellen (Abb. 2.33): Der Geschäftsprozess ‚Produktion planen' erzeugt basierend auf Prognosen oder festen Kundenbestellungen Produktionspläne für alle Produktionsprozesse. Diese Pläne bilden eine Liste der in einem bestimmten *Planungshorizont* abzuarbeitenden Produktionsaufträge. Dem Planungshorizont des Produktionsplanes entspricht in der Regel die *Planungshäufigkeit* (PH), mit der er erstellt wird – hier beispielsweise wöchentlich. Die eingesteuerten Pläne werden in der Regel nicht rollierend geplant. Die Reihenfolge im Produktionsplan ist meist nicht strikt vorgegeben, aber durch Prioritäten doch eingeschränkt. Eilaufträge und Planänderungen kommen dann gegebenenfalls noch hinzu.

Der mit Produktionsplan angesteuerte Produktionsprozess fertigt nun auf Lager, das durch ein Dreieck symbolisiert wird. Der zugehörige Mate-

rialfluss wird nun mit einem *gestreiften* Pfeil dargestellt, um den prognoseorientierten Charakter der logistischen Verknüpfung auch im Symbol hervorzuheben (Abb. 2.33). Zentrales Merkmal der planungsorientierten Produktion ist, dass der Nachfolgeprozess durch einen eigenen Plan angesteuert wird. Dieser sollte von der Planungsabteilung auf den Plan des Vorgängerprozesses abgestimmt sein. Um dies zu erleichtern, planen die Systeme eine sogenannte *Übergangszeit* zwischen den Produktionsprozessen ein. Dieser Zeitpuffer materialisiert sich dann in Beständen, die bei der Wertstromanalyse gezählt und unter dem Lagersymbol als Bestand eingetragen werden.

Verbrauchsgesteuerte Disposition Die zweite grundsätzliche Möglichkeit einer planungsorientierten Produktion ist das *Bestellbestandsverfahren* mit seinen verschiedenen Ausprägungen. Bei diesem Verfahren werden die Produktionspläne *verbrauchsgesteuert* erstellt, das heißt Produktionsaufträge werden durch Lagerentnahmen automatisch erzeugt und vom Disponenten dann in der Regel freigegeben. Der Lagerbestandsverlauf entspricht dann bei durchschnittlichen Verhältnissen der für diese Steuerung typischen Sägezahnkurve (Abb. 2.34, links). Bei durchschnittlichem Materialabgang aus dem jeweiligen Lager sinkt der Bestand linear über der Zeit ab. Wenn die nachgefertigten Teile eintreffen, steigt der Bestand sprunghaft um die gelieferte Losgröße an. Wiederholt sich der Ablauf, entsteht der ‚Sägezahn'.

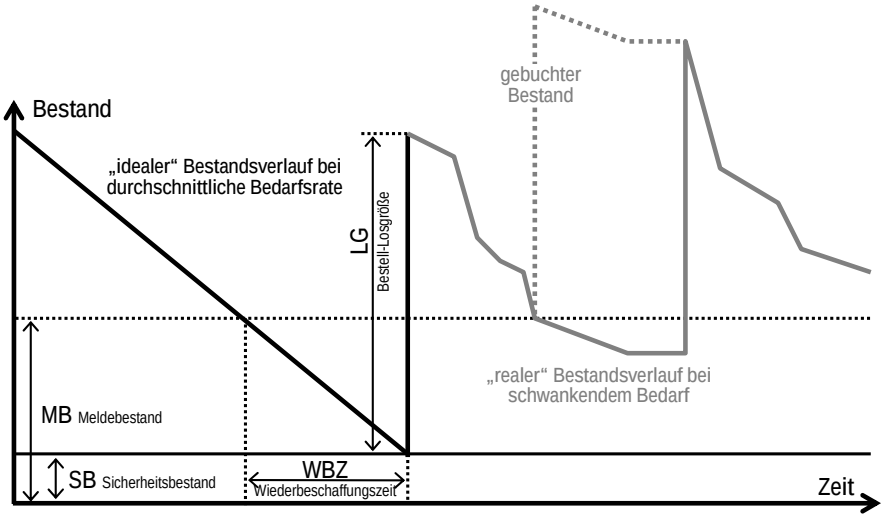


Abb. 2.34. Lagerbestandsverlauf beim Bestellbestandsverfahren

Die automatische Bestellauslösung erfolgt, wenn der Lagerbestand durch Lagerentnahmen auf den Meldebestand abgesunken ist. Der verbliebene Bestand muss nun reichen, bis das bestellte Los eingetroffen ist. Er entspricht daher dem durchschnittlichen täglichen Verbrauch während der Wiederbeschaffungszeit in Tagen. Damit auch kurzfristige Bedarfserhöhungen sowie störungsbedingte Lieferverzögerungen abgedeckt werden können, ist noch ein Sicherheitsbestand zu berücksichtigen. Damit ergibt sich als Berechnungsgrundlage für den Meldebestand:

$$MB = \frac{Stck}{FT} \times WBZ + SB \tag{2.14}$$

mit: MB Meldebestand [Stck.]
WBZ Wiederbeschaffungszeit [d]
SB Sicherheitsbestand [Stck.]
Stck Jahresbedarf [Stck./a]
FT Fabriktage pro Jahr [d/a]

Der tatsächliche Materialverbrauch wird nicht ganz gleichmäßig verlaufen. Bei starkem Abgang nach Bestellauslösung wird eventuell der Sicherheitsbestand angegriffen, bei schwachem Abgang wird er, wie im Beispiel eingezeichnet, nicht erreicht (Abb. 2.34, rechts). Wichtig ist, dass die Bestellmenge als offener Lagerzugang dem Bestand zugebucht wird. Sofern die Bestell-Losgröße kleiner als der Meldebestand ist, kann letzterer ausgehend vom virtuellen Lagerbestand nochmals unterschritten werden und damit eine zweite Nachproduktion auslösen. Ohne die Zubuchung würde das Lager möglicherweise leerlaufen, falls nämlich die Meldegrenze durch Nachlieferung des ersten Loses nicht mehr überschritten wird.

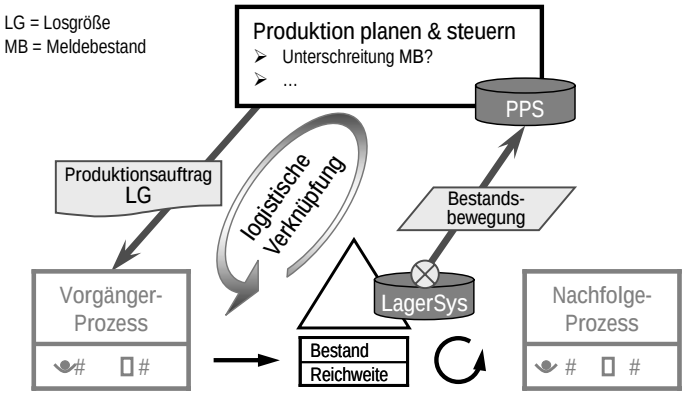


Abb. 2.35. Verbrauchsgesteuerte logistische Verknüpfung

Die logistische Verknüpfung bildet im Fall einer verbrauchsgesteuerten Disposition einen geschlossenen Kreislauf (Abb. 2.35). Das Lagerverwaltungssystem übermittelt via Schnittstelle die aktuellen Bestände an das PPS-System. Mit der dort implementierten Planungslogik werden Unterschreitungen von Meldebeständen ermittelt und Bestellvorschläge in festgelegten Losgrößen erzeugt. Nach Freigabe wird der entsprechende Produktionsauftrag beim Vorgängerprozess eingesteuert. Die fertiggestellten Teile werden abschließend eingelagert und im Lagerverwaltungssystem zugebucht. Die Abläufe können sich im Einzelnen von dem hier gezeichneten Beispiel unterscheiden. Das kann die systemtechnische Ausstattung betreffen oder auch die im Geschäftsprozess kurz beschriebene Planungslogik. So arbeitet beispielsweise das sehr ähnliche Bestellrhythmusverfahren mit fixen Bestellintervallen und variablen Losgrößen.

Des Weiteren lassen sich die verbrauchsgesteuerten Verfahren durch die *Reservierung* von Beständen auf künftige Ereignisse besser abstimmen. Um die Erfüllung einer Lieferzusage für einen künftigen Zeitpunkt zu garantieren, werden die benötigten Teile und Materialien schon vor Produktionsbeginn den entsprechenden Aufträgen fix zugeordnet. Dadurch ist die Verfügbarkeit im späteren Bedarfsfall abgesichert. Da der physische Bestand dann nicht mehr für andere Verbräuche verfügbar ist, wird die Nachproduktion bereits früher ausgelöst. In den Ablauf wird so ein prognoseorientiertes Element integriert.

Informationsfluss

Die Aufgaben der *Auftragsabwicklung* werden bei der Wertstromanalyse gegliedert in *Geschäftsprozesse* dargestellt. In den entsprechenden Rechtecksymbolen ist insbesondere die Planungs- und Steuerungslogik zu beschreiben.

Der Austausch von Daten und Dokumenten erfolgt entsprechend der mit *Informationsflusspfeilen* dargestellten Verbindungen zwischen Geschäftsprozessen, Kunden, Lieferanten und Produktionsprozessen. Eine Wertstromanalyse erfasst somit alle *Dokumente*, die im Rahmen der Auftragsabwicklung erstellt und bearbeitet werden.

Wenn mit Geschäftsprozessen und Informationsfluss die Planungs- und Steuerungslogik geklärt und dargestellt ist, kann der Materialfluss in seiner symbolischen Darstellung entsprechend angepasst werden. Alle drei Komponenten konfigurieren gemeinsam zwischen je zwei Produktionsprozessen deren *logistische Verknüpfung*.

Mit Einzeichnung der Geschäftsprozesse, aller Informationsflusspfeile sowie den jeweiligen Informationsträgern ist die Wertstromaufnahme abgeschlossen (Abb. 2.36). Das Informationsnetzwerk verbindet Kunden-,

Lieferanten- und Produktionsprozesse und sorgt dafür, dass der Wertstrom ins Fließen kommt – oder eben auch ins Stocken gerät. In der Summe sind jetzt alle am Produktionsablauf beteiligten Prozesse, alle erstellten Dokumente und erzeugten Zwischenprodukte sowie alle charakteristischen Kennwerte der Prozesse erfasst, die den Wertstrom im Ist-Zustand beschreiben. In der unteren Blatthälfte befindet sich die Darstellung des Shop Floors mit den Produktionsprozessen und dem sie verbindenden, meist innerbetrieblichen, von links nach rechts laufenden Materialfluss. Rechts und links in der Vertikalen sind die außerbetrieblichen Transporte mit den angebundenen Kunden und Lieferanten dargestellt. Innerhalb dieses Rahmens befindet sich der netzartig aufgebaute Informationsfluss, der seinen Ausgangspunkt beim Kunden hat, sich nach links zu den Lieferanten und nach unten zu den Prozessen aufteilt sowie über den Versand wieder zurück nach rechts zum Kunden fließt.

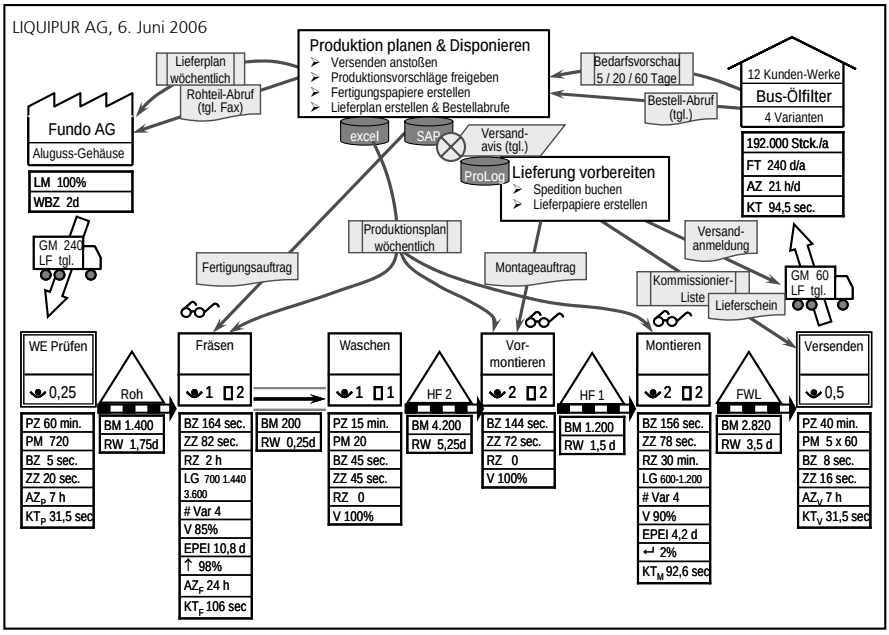


Abb. 2.36. Wertstromaufnahme bei Liquipur (4): Geschäftsprozesse, Informationsflusspfeile und Informationsträger

Fallbeispiel Bei *Liquipur* werden in der Ist-Aufnahme des Wertstroms zwei Geschäftsprozesse unterschieden: ‚Produktion planen & Material disponieren' sowie ‚Lieferung vorbereiten' (Abb. 2.36). Entsprechend der von den Kunden übermittelten Bedarfsvorschau wird ein wöchentlicher Produktionsplan erstellt. Der Fräsprozess und die Vormontage erhalten zudem Auftragspapiere. Der durch prognoseorientierte Planung erzeugte Materialfluss ist in allen Fällen mit Dreieck und

gestreiftem Pfeil zu symbolisieren. Lediglich vom Fräsen geht es unmittelbar ohne Zwischenlagerung an die Waschmaschine, was durch eine Förderstrecke symbolisiert wird.

Die Versandabteilung erhält täglich per Schnittstelle aus dem SAP einen Versand-Avis in sein ‚ProLog'-System eingespeist. Je nach Kunde ist die Spedition auszuwählen und dort der Versand mit Menge anzumelden. Der Prozess ‚Versenden' erhält die Lieferscheine und eine Kommissionierliste, mit der die Ölfilter aus dem Fertigwarenlager kommissioniert werden.

Die Kunden übermitteln an das SAP-System eine unverbindliche Bedarfsvorschau, die mit abnehmender Genauigkeit den erwarteten Bedarf für die nächste Woche, den laufenden Monat und das laufende Quartal enthält. Der Bestellabruf erfolgt dann täglich, wobei eine Auslieferung am gleichen Tag vereinbart ist. Basierend auf der Bedarfsvorschau errechnet SAP einen wöchentlichen Lieferplan, der dem Lieferanten per EDI zugestellt wird. Der Bestellabruf für die Rohteile erfolgt dann jeweils zwei Tage vor der geplanten Bearbeitung nach Andruck und Sichtkontrolle auf Richtigkeit per Fax.

Für die Produktion wird ein wöchentlicher Produktionsplan in einer Excel-Tabelle erstellt. Dieser Plan listet alle Fertigungsaufträge für den Fräsprozess sowie die Montageaufträge für den Vormontage- und den Montageprozess in Bearbeitungsreihenfolge auf. In einer täglichen Terminbesprechung wird der Produktionsplan an aktuelle Gegebenheiten durch Mengen- und Reihenfolgeänderungen angepasst. Die Montageaufträge werden beim Vormontieren eingesteuert und zusammen mit dem Material zum Montieren gebracht.

2.4 Potentiale

Mit Fertigstellung der Wertstromaufnahme ist die Wertstromanalyse noch nicht abgeschlossen. Die Wertstromdarstellung kann vielmehr dazu genutzt werden, *Verbesserungspotentiale* für den Produktionsablauf aufzuzeigen:

1. Grundlage dafür ist zunächst einmal die Zeitlinie, die mit dem Vergleich von Durchlaufzeit und Bearbeitungszeit eine erste Bewertung des Produktionssystems erlaubt (Abschn. 2.4.1). Aus dem Verhältnis dieser beiden Werte, dem *Flussgrad*, lässt sich ableiten, wie träge eine Produktion ist. Die großen Staustufen im Produktionsfluss lassen sich an den Stellen mit hohen Beständen erkennen.
2. Ferner zeigt die Betrachtung der Leistungsfähigkeit einzelner Produktionsprozesse relativ zueinander, wie gut oder schlecht zueinander passend die verfügbaren Betriebsmittel ausgelegt sind (Abschn. 2.4.2). Aus dieser taktorientierten Betrachtung lassen sich *Anforderungen* an die Gestaltung der Produktionsprozesse ableiten, so dass sie sich gut abgestimmt in den Produktionsfluss einfügen lassen.

3. Zudem können im Einzelfall bei leicht erkennbaren *Schwächen* des Produktionsablaufes an einzelnen Stellen bereits Sofortmaßnahmen zur punktuellen Verbesserung angestoßen werden, ohne dass konzeptionelle Änderungen erforderlich wären. Auch zeigt die Wertstromdarstellung den Komplexitätsgrad und die *Transparenz* des gesamten Produktionsablaufes. Je unübersichtlicher die Darstellung des Ist-Zustandes erscheint, desto wichtiger ist eine Neugestaltung nach den Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns (Kap. 3).

Die Wertstromanalyse ermöglicht und gestaltet ‚Management by Walking Around' durch den Produktionsleiter. Durch eine wiederholte Wertstromaufnahme können von Verbesserungsprojekten angestoßene Veränderungen in ihren Auswirkungen beurteilt werden. Ferner können die gegebenenfalls von veränderten Anforderungen oder schlechten Gewohnheiten bewirkten Verschlechterungen im Produktionsablauf sicher und umfassend erkannt werden. Die Wertstromanalyse eignet sich somit als Werkzeug zur Initiierung und Bewertung von Veränderungsprozessen in der Produktion.

Produktionsaudit

Die Wertstromanalyse ist insbesondere für *Unternehmensexterne* eine hervorragend geeignete Methode, um effizient und zielgerichtet den Ist-Zustand einer Produktion zu erfassen und Verbesserungspotentiale auszuweisen.

Der Abstraktionsgrad der Methode verbunden mit der analogen Darstellung auch sehr unterschiedlicher Produktionen erleichtert den Vergleich – und dadurch auch die Übertragung von Erfahrungen – zwischen Firmen aus unterschiedlichen Branchen. Genauso können kennzahlenbasierte *Benchmarks* zwischen Firmen der gleichen Branche oder mehreren Werken eines Unternehmens präzise mit Darstellungen des Produktionsablaufs verbunden werden.

Die in der Regel unvoreingenommene Sicht einer externen Person und seine partielle Unkenntnis sogenannter technischer Sachzwänge bieten dem analysierten Unternehmen einen Ausweg aus dem Tunnelblick bewährten Erfahrungswissens in der Produktionsweise. Dies spielt weniger in der Wertstromaufnahme eine Rolle – darin können interne Mitarbeiter gut geschult werden –, sondern vor allem beim anschließenden Aufzeigen von Verbesserungspotentialen. Letztere können zum großen Teil nur durch das In-Frage-Stellen des gewohnten Ablaufes als solche erkannt werden. Es gilt, scheinbar Bewährtes aufzugeben sowie technische ‚Sachzwänge' in ihrer Gestaltbarkeit – und damit Veränderbarkeit – zu erkennen.

2.4.1 Durchlaufzeit

Der Begriff ‚Wertstrom' verwendet die Metapher des Fließens für die Produktion. Viele denken hierbei zunächst an Wasserläufe wie Fluss oder Gebirgsbach. Da es sich bei einer Produktion nur äußerst selten um etwas natürlich Gewachsenes handelt, ist das Bild eines Kanals in diesem Zusammenhang geeigneter. Da eine Produktion den Durchfluss sowohl in der Richtung lenkt als auch in der Menge steuert und begrenzt, soll hier das Modell eines Rohres beziehungsweise einer Pipeline verwendet werden.

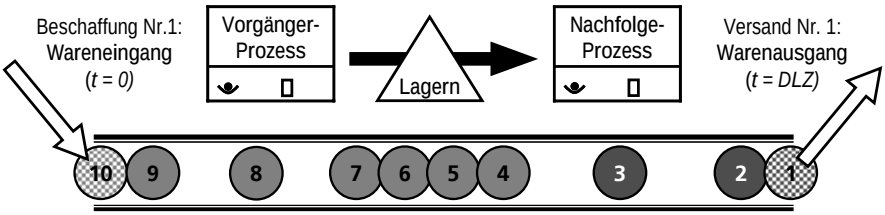


Abb. 2.37. Das Pipeline-Modell der Produktion

Das Pipeline-Modell der Produktion zeigt die Produkte als Kugeln, die durch ein Rohr gepresst werden. Die Produktionsdurchlaufzeit kann man sich nun denken als diejenige Zeitdauer, die eine Produkt-Kugel benötigt, um von der Wareneingangs-Rohröffnung zur Warenausgangs-Rohröffnung zu gelangen (Abb. 2.37). Man markiere also ein Rohmaterialteil und messe die Zeit, bis dieses markierte Teil als Bestandteil eines Fertigproduktes den Versand erreicht hat. Auf diesem Weg muss das Teil alle entsprechende Prozessschritte mit den zugehörigen Bearbeitungs- und Prozesszeiten sowie alle zwischengelagerten Bestände durchlaufen. Im Lager darf das Teil die anderen Teile nicht überholen, sondern wird erst ausgelagert, nachdem die vor seiner Einlagerung vorrätigen Materialien verbraucht worden sind.

Dieser Modellvorstellung entsprechend geben die Lagerreichweiten unmittelbar Auskunft über die Durchlaufzeit eines Produktes. Die Durchlaufzeit eines Wertstroms ergibt sich somit als Summe aller Bearbeitungszeiten und Prozesszeiten (Abschn. 2.3.1) sowie aller Lagerreichweiten (Abschn. 2.3.2) im langsamsten Zweig des betrachteten Wertstroms:

$$DLZ_{\text{Prod}} = \sum_{\text{Prozess}} (BZ + PZ) + \sum_{Lager} RW \cong \sum_{Lager} RW$$

mit: DLZ Produktions-Durchlaufzeit
BZ Bearbeitungszeit
PZ Prozesszeit
RW Reichweite der Lagerbestände

(2.15)

Dabei können die Bearbeitungszeiten in der Regel im Vergleich zur Lagerreichweite vernachlässigt werden. Die Reichweite kann durch Be-

standsmenge und Kundentakt ausgedrückt werden. Der damit formulierte Zusammenhang heißt auch ‚Little's Law' – benannt nach dem von John Little im Rahmen der Warteschlangentheorie formulierten Zusammenhang, dass sich der Bestand innerhalb einer Produktion als Produkt von Durchlaufzeit und Produktionsrate ergibt. Ersetzt man die Produktionsrate durch ihren mit dem Kundentakt formulierten Kehrwert, ergibt sich nach einfacher Umformung der in Gleichung 2.15 formulierte Zusammenhang.

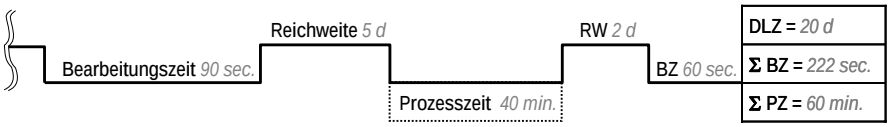


Abb. 2.38. Zeitlinie (Ausschnitt) sowie Kasten mit Summenzahlen

Die jeweiligen Einzelzeiten eines Wertstroms werden auf der sogenannten *Zeitlinie* unterhalb der Wertstromdarstellung eingetragen (Abb. 2.38). Zunächst zeichnet man eine Sprunglinie mit zwei Niveaus – das obere Niveau der Linie gehört zum Materialfluss mit den jeweiligen Lägern oder Puffern, das untere Niveau der Linie gehört zu den Produktionsprozessen. Auf der so gezeichneten Zeitlinie werden nun jeweils entweder die Reichweite oder die Bearbeitungszeit notiert. Da sich die Prozesszeiten in ihrer Dauer meist deutlich von den Bearbeitungszeiten unterscheiden, aus simultan bearbeiteten Losen bestehen und keine Mitarbeiterzeit umfassen, sollte man sie getrennt wie in der Abbildung gezeigt unter der Zeitlinie einzeichnen. So erhält man im Ganzen eine Zeitlinie mit drei Niveaus.

Am rechten Ende der Zeitlinie trägt man in einem Kasten die Summe aller Reichweiten als *Produktions-Durchlaufzeit* (DLZ) ein sowie darunter zum Vergleich die Summe aller Bearbeitungszeiten (Σ BZ) und die Summe aller Prozesszeiten (Σ PZ). So erhält man auf einen Blick die fast immer erstaunlich große Differenz zwischen der Bearbeitungszeit im Minutenbereich und der Prozesszeit im Stundenbereich einerseits sowie der Durchlaufzeit im Tages- bis Wochenbereich andererseits. Der Flussgrad (FG) als Maß für die Dynamik der Produktion errechnet sich als Quotient von Bearbeitungszeit beziehungsweise Prozesszeit und Durchlaufzeit:

$$\mathrm{FG} = \frac{\sum_{\mathrm{Prozess}} (BZ + PZ)}{\sum_{Lager} RW \times AZ} \times 100 \qquad (2.16)$$

mit: FG Flussgrad [%]
BZ Bearbeitungszeit [h]
PZ Prozesszeit [h]
RW Reichweite der Lagerbestände [d]
AZ Arbeitszeit pro Tag [h/d]

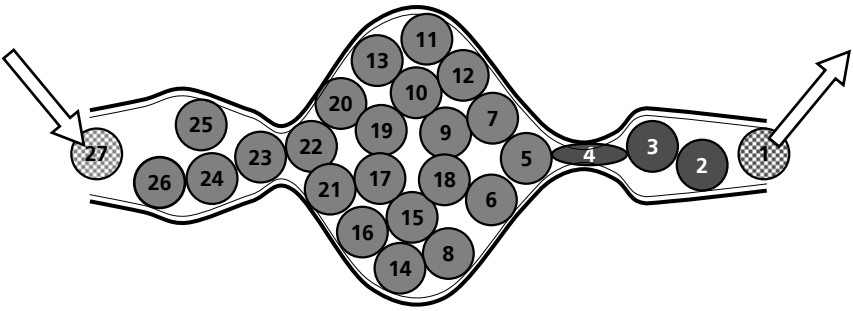


Abb. 2.39. Stauungen im Produktionsfluss weisen auf Engstellen hin

Die Zeitlinie zeigt auf einen Blick, an welchen Stellen im Wertstrom besonders hohe Reichweiten bestehen. An diesen Stellen kommt es offenbar zu ausgeprägten Stauungen im Produktionsfluss; das Material fließt hier nicht schnell genug weiter (Abb. 2.39). Große Bestände in der Produktion zeigen Stauungen und damit Verstopfung im Gesamtablauf. Dies passiert gerne vor Engpässen, durch die sich die Produkte gewissermaßen hindurchquetschen müssen. Stauungen entstehen also, wenn der nachfolgende Produktionsprozess ungenügende Kapazitäten bereitstellt.

Mit der Frage „Weshalb brauche ich in der Produktion soundsoviele Tage, um an meinem Produkt soundsowenige Minuten zu arbeiten?“ wird die Spannweite nicht nur des zeitlichen Verbesserungspotentials des Wertstroms umrissen. Die Summe der Bearbeitungs- und Prozesszeiten gibt an, wie schnell eine Fabrik maximal werden kann und die Durchlaufzeit zeigt auf, wie groß der Abstand zu diesem theoretischen Minimalwert ist. Je größer diese zeitliche Spannweite ist, desto größer ist auch der Verstopfungsgrad in der Produktion, da in diesem Fall unverhältnismäßig viel angearbeitetes Material in der Fabrik herumliegt. Lediglich ein hoher Rohmaterialbestand ist – abgesehen von den Bestandkosten – vergleichsweise unproblematisch, da er die Produktionsfläche nicht belastet und den Produktionsablauf auch nicht behindert. Erfahrungsgemäß führen Stauungen in der Produktion zu Problemen mit allen ihren logistischen Zielvorgaben – der gewünschten Lieferzeit, der erreichten Liefertreue sowie der angebotenen Lieferfähigkeit. Diese Probleme kann eine schnelle Fabrik zumeist besser beherrschen (Kap. 3).

Mit Hilfe der Zeitlinie kann in einer einfachen grafischen Darstellung verfolgt werden, wie sich die aus Beständen resultierende Durchlaufzeit sowie die aus technischen und logistischen Prozesszeiten resultierende Bearbeitungszeit entlang des Wertstroms zueinander verhalten. Die Zeitlinie wird unterhalb des Wertstroms aufgetragen; ganz rechts unter dem Kundensymbol findet sich dann der Kasten mit dem zusammenfassenden Zeitvergleich (Abb. 2.40).

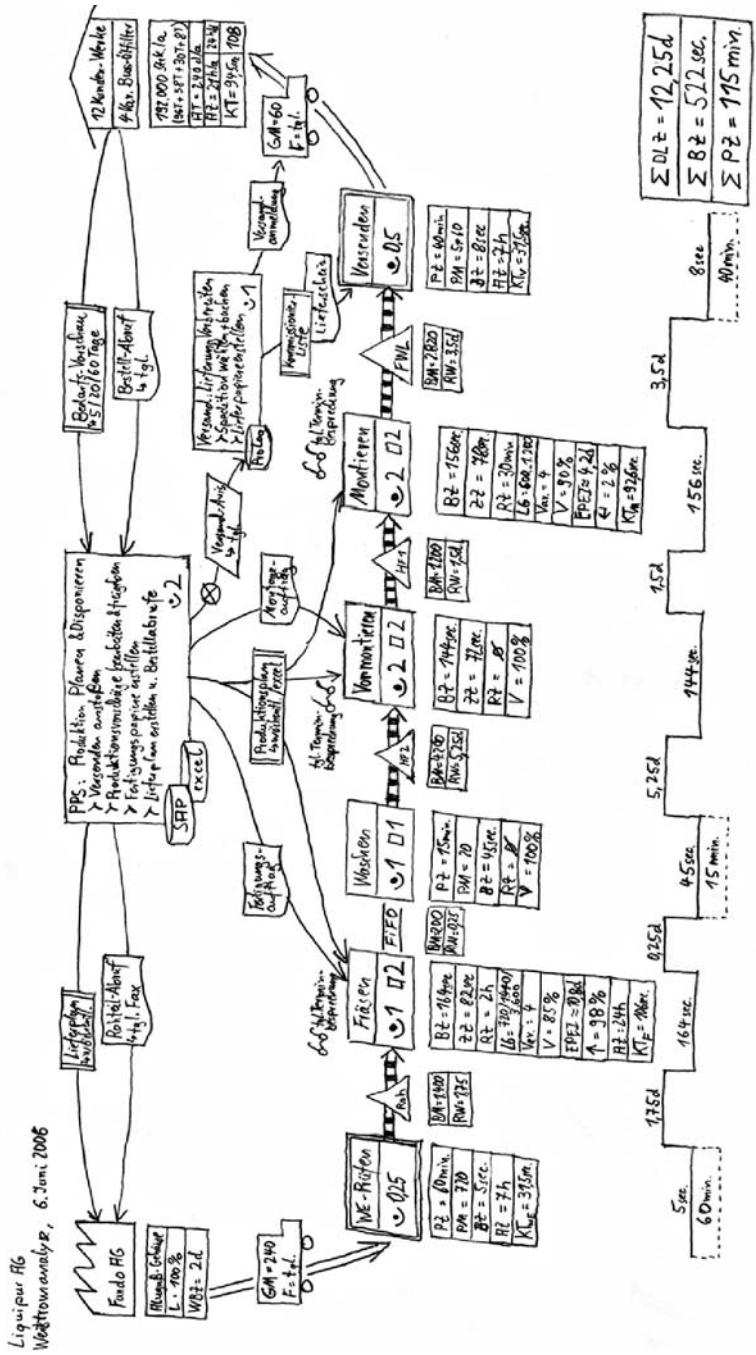


Abb. 2.40. Der komplette Wertstrom der Liquipur, gezeichnet am 6. Juni 2006

Fallbeispiel Nach Einzeichnung der Kennlinie ist die Werstromdarstellung der Firma *Liquipur* komplett. Sie ist hier zur beispielhaften Illustration als Bleistiftzeichnung wiedergegeben (Abb. 2.40). Die Bewertung der *Zeitcharakteristik* ergibt folgendes:

Durchlaufzeit Die gesamte Durchlaufzeit beträgt gut 12 Tage. Der Bestand an Rohmaterial ist mit knapp 2 Tagen sehr gering. Mit 7 Tagen macht der WIP knapp 60 Prozent des gesamten Bestandes aus, ist also auch anteilig sehr hoch.

Bearbeitungszeit Die Bearbeitungszeit beträgt mit aufsummierten 522 Sekunden knapp neun Minuten. Vor dem Hintergrund einer niedrigen Variantenanzahl und der relativ kleinen Gebindemenge von 60 Stück (entspricht einem Arbeitsinhalt von 9 Stunden) erscheint der Bestand in der Produktion leicht reduzierbar.

Prozesszeiten Die Prozesszeiten von 115 Minuten sind hauptsächlich Logistikzeiten in Wareneingang und Versand, die den Produktionsfluss kaum beeinflussen. Relevant ist lediglich das Waschen mit relativ kurzen 15 Minuten.

Fazit Würde man in der ansonsten auftragsfreien Fabrik einen einzelnen Ölfilter produzieren, dann wäre er in etwa 21 Minuten fertiggestellt. Produziert man ein Versandgebinde in überlappender Fertigung, dann wäre der Auftrag in etwa drei Stunden fertiggestellt (berechnet aus 60 Mal Fräsen und einmal Waschen, Vormontieren und Montieren für das letzte Stück). Hält man das Los beisammen, dann steigt der Durchlaufzeitbedarf auf etwas mehr als eine Schicht. Damit ist das Durchlaufzeitpotential umrissen.

Das Einsparpotential bei den Beständen im Rohmateriallager ist offensichtlich bei früheren Optimierungen bereits recht gut ausgeschöpft worden. Sehr auffällig als ungünstige Lösung ist die Trennung der beiden Montageprozesse durch ein zwischengeschaltetes Lager. Sogar der Informationsfluss behandelt diese beiden Prozesse gemeinsam, ähnlich wie beim Fräsen und Waschen.

2.4.2 Taktabstimmung

Der zweite Blick zur Beurteilung der Güte des Wertstroms gilt der Stimmigkeit der einzelnen Prozesse untereinander. Ein ideales und einfaches Werkzeug hierzu ist das *Taktabstimmungsdiagramm* (gebräuchlich ist hier auch die elegante englische Bezeichnung *Operator Balance Chart*). Die Taktabstimmung dient nach DIN 33415 dem Ziel, Arbeitsinhalte möglichst gleichmäßig auf eine Abfolge von Arbeitsplätzen zu verteilen. Die graphische Darstellung dieser Arbeitsverteilung in einem Balkendiagramm ist sehr hilfreich, die Güte der Taktabstimmung zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen zu beurteilen (Abb. 2.41). Dieses Instrument wird vor allem bei Montage- oder Fertigungslinien verwendet. In der Wertstromanalyse wird es zum Vergleich aller Produktionsprozesse auf den gesamten Wertstrom ausgedehnt.

Im dargestellten Zahlenbeispiel ist jedem Mitarbeiter ein Arbeitsplatz zugeordnet, wobei dieser Arbeitsplatz bei einer Montagelinie auch mehrere Stationen enthalten kann (Abb. 2.41). Eingetragen wird nun der Arbeitsinhalt an jedem Arbeitsplatz – hier schwankt er zwischen 48 Sekunden an Arbeitsplatz 3 und 88 Sekunden an Arbeitsplatz 4. Verglichen wird also die Auslastung der Mitarbeiter. Der höchste Balken ist der Engpass der Linie, der den maximal erreichbaren Gesamtausstoß bestimmt. Im Idealfall, das heißt ohne Störungen und Verteilzeiten, beträgt die Ausbringung bei der Taktzeit des Engpasses von 88 Sekunden knapp 41 Stück pro Stunde. Die Arbeitsersparnis an den schnelleren Arbeitsplätzen geht verloren, sowohl bezüglich der Ausbringung, als auch in der Regel als Wartezeiten der Mitarbeiter an den jeweiligen Arbeitsplätzen. Im dargestellten Zahlenbeispiel hat insbesondere der Mitarbeiter an Arbeitsplatz 3 große Wartezeiten, nämlich 40 Sekunden pro Stück, das sind 45 Prozent des größten Arbeitsinhaltes an Platz 4. Diese Abtaktungsverluste sieht man im Taktabstimmungsdiagramm sehr übersichtlich.

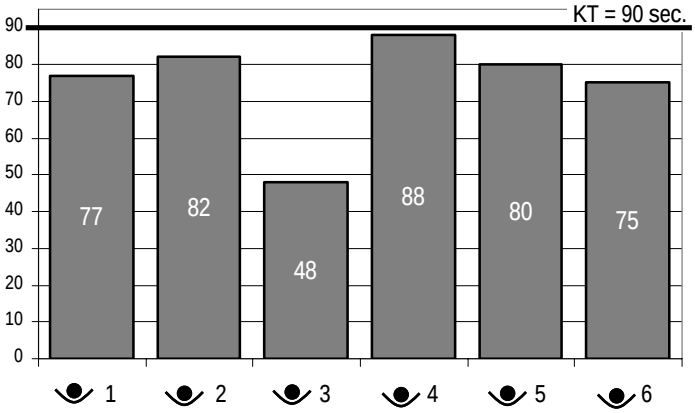


Abb. 2.41. Taktabstimmungsdiagramm (Zahlenbeispiel)

Ebenfalls in das Taktabstimmungsdiagramm einzeichnen kann man den Kundentakt. Um den Kundenbedarf im Normalbetrieb zu erreichen, muss jeder Arbeitsplatz schneller als der Kundentakt sein, also eine geringere Taktzeit aufweisen. Den Kundentakt zeichnet man als Linie in das Taktabstimmungsdiagramm ein (Abb. 2.41). Alle Arbeitsplätze, deren im Balken dargestellter Arbeitsinhalt unter der Kundentaktlinie liegt, haben eine ausreichende Kapazität. Im Zahlenbeispiel werden vom Kunden 40 Stück pro Stunde benötigt, das entspricht einem Kundentakt von 90 Sekunden.

Bei der Wertstromanalyse verwendet man das Taktabstimmungsdiagramm nun zum Vergleich der Ausbringung aller betrachteten Produkti-

onsprozesse. Die Zykluszeit eines Prozesses gibt den Zeitbedarf pro Stück und damit die kapazitative Leistungsfähigkeit dieses Prozesses an. Je kleiner die Zykluszeit ist, desto größer ist die Kapazität. Durch Auftragen der Zykluszeiten lässt sich der gesamte Wertstrom mit seinem Kapazitätsangebot in einem Balkendiagramm darstellen. Mit dem Verlauf des Kapazitätsangebots über den Wertstrom hinweg erhält man so das *Kapazitätsprofil* des Wertstroms. Zu beachten ist, dass hier nicht der zeitliche Kapazitätsverlauf gemeint ist, sondern der räumliche über die Produktionsprozesse des Wertstroms hinweg. Als Analyseinstrument im Rahmen der Wertstromanalyse zeigt dieses Kapazitätsprofil:

- ob der Kundentakt von jedem Prozess im Normalbetrieb, das heißt ohne Überstunden, ohne sporadisch zusätzlich unterstützende Mitarbeiter und ohne Alternativressourcen, erfüllt werden kann – indem nämlich seine Zykluszeit niedriger ist als der Kundentakt,
- an welcher Stelle der kapazitative Engpass im gesamten Wertstrom liegt – nämlich beim Prozess mit der größten Zykluszeit,
- wie hoch die Überkapazitäten beziehungsweise Kapazitätsreserven im Wertstrom sind – das sind sämtliche Differenzen der Zykluszeiten zum Kundentakt.

Mit Abschluss der Wertstromanalyse, die ja unter der Grundidee steht, Kundensicht einzunehmen, zeigt die Potentialanalyse mit dem Kapazitätsprofil, wie gut die Produktionsprozesse mit ihren jeweiligen Zykluszeiten zum Kundentakt passen. Der Kundentakt wird dadurch zum Maßstab für die gelungene *kapazitative Auslegung* einer Produktion. Allgemein gilt, dass die Zykluszeiten möglichst gleich groß sein und den Kundentakt nie überschreiten sollten. Der Kundentakt als Bewertungsmaßstab liefert zugleich auch die erste Gestaltungsregel für einen optimalen Wertstrom. Formuliert als Gestaltungsrichtlinie lautet sie wie folgt:

Gestaltungsrichtlinie 1: *Ausrichtung am Kundentakt*

Das Kapazitätsangebot einer Produktion ist durchgängig am Kundentakt auszurichten.

Eine zum Kundenbedarf passende Auslegung des Kapazitätsangebots heißt jedoch nicht zwangsläufig, jeden Produktionsprozess mit der gleichen Zykluszeit auszustatten. Hinsichtlich Flexibilität und Termintreue können Überkapazitäten, das heißt deutlich kleinere Zykluszeiten, an einigen Stellen im Produktionsfluss aus technologischen und ablauforganisatorischen Gründen deutliche Vorteile bringen. Der Einfluss auf die Kosten kann je nach den Gegebenheiten extrem unterschiedlich sein. Im richtigen

Austarieren des Kapazitätsprofils liegt eine wichtige Gestaltungsaufgabe (Abschn. 3.4.3).

Fallbeispiel Ein Blick auf das Taktabstimmungsdiagramm bei *Liquipur* zeigt, dass die beiden Montageprozesse recht gut aufeinander abgestimmt sind (Abb. 2.42). Das Fräsen ist am stärksten ausgelastet und liegt 13 Prozent unter dem Kundentakt von 94,5 Sekunden (Gl. 2.2). Die Waschmaschine ist zu knapp 50 Prozent ausgelastet. Die beiden Logistikprozesse ‚Versenden' und ‚Wareneingang Prüfen' arbeiten einschichtig und haben daher einen gedrittelten Kundentakt von 31,5 Sekunden. Ohne Berücksichtigung von Verfügbarkeiten, Rüstzeiten und Qualitätsproblemen sind demnach alle Produktionsprozesse kapazitativ ausreichend dimensioniert.

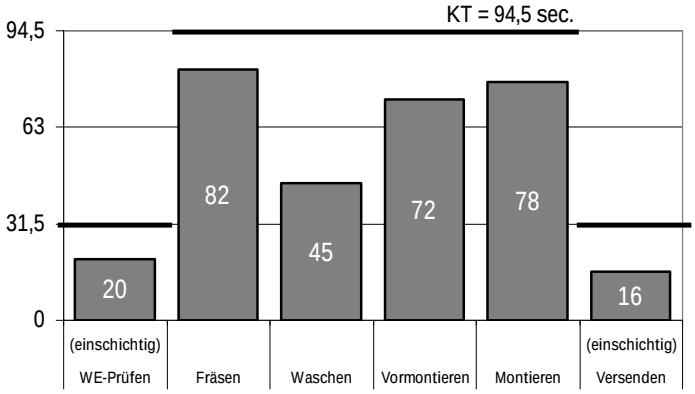


Abb. 2.42. Taktabstimmungsdiagramm der Liquipur

Im Taktabstimmungsdiagramm ebenfalls berücksichtigen lassen sich die verlangsamenden Effekte von Rüstvorgängen und eingeschränkten Verfügbarkeiten. Durch Umlage der Rüstzeiten auf das Los erhöht sich der Balken der Zykluszeit um den stückzahlbezogenen Rüstzeitanteil. Eine eingeschränkte Verfügbarkeit kann dann zusätzlich über den entsprechenden prozentualen Aufschlag berücksichtigt werden (Abb. 2.43). Aus der *Netto-Zykluszeit* wird so eine *Brutto-Zykluszeit*, die auch zum Kundentakt in einem anderen Verhältnis steht und einen gegebenenfalls noch vorhandenen Zeitpuffer ‚auffrisst'. Die zugehörigen Auslastungswerte lassen sich nun einfach errechnen. Dabei fließen über den Kundentakt der durchschnittliche Bedarf und über die Zeitwerte die maximale Leistungsfähigkeit des jeweiligen Produktionsprozesses ein.

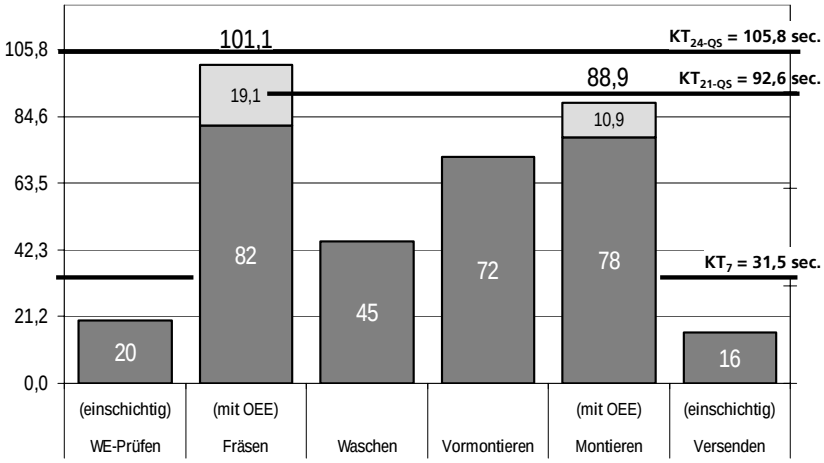
$$A_{\text{netto}} = \frac{BZ}{KT} \qquad A_{\text{brutto}} = \frac{BZ + \frac{RZ}{LG}}{KT \times V}$$

mit: A Auslastung
KT Kundentakt
BZ Bearbeitungszeit
RZ Rüstzeit
LG Losgröße
V Verfügbarkeit (2.17)

Fallbeispiel Berücksichtigt man Verfügbarkeiten und Rüstzeiten, dann sind bei *Liquipur* die Zykluszeiten beim Montieren und Fräsen anzupassen. Bei der Berechnung des EPEI für das Montieren fielen 4 Stunden Rüstzeit auf 156 Stunden Montagezeit (Gl. 2.8), was einem Rüstanteil von 2,6 Prozent entspricht. Zusammen mit der Verfügbarkeit von 90 Prozent ergibt sich für die Brutto-Zykluszeit:

$$ZZ_{brutto} = \frac{ZZ_{netto} \times (1 + 2{,}6\%)}{90\%} = 78\,\text{sec.} \times 1{,}14 = 88{,}9\,\text{sec.} \tag{2.18}$$

Beim Fräsen fallen 16 Stunden Rüsten bei 426 Stunden Fräsen an (Gl. 2.10), das sind 3,8 Prozent Rüstanteil. Nach gleicher Rechnung wie beim Montieren (Gl. 2.18) ergibt sich bei einer Verfügbarkeit von 85 Prozent eine Brutto-Zykluszeit von 100,1 Sekunden. Die effizienzsenkenden Zeitzuschläge beider Prozesse sind im Taktabstimmungsdiagramm als Zeitzuschlag von 10,9 beziehungsweise 19,1 Sekunden auf den entsprechenden Balken aufgetragen (Abb. 2.43).



OEE = Overall Equipment Efficiency (Rüstzeit, Verfügbarkeit)
$KT_{AZ\text{-}QS}$ = prozessspezifischer Kundentakt (Arbeitszeit, Qualität)

Abb. 2.43. Taktabstimmungsdiagramm der Liquipur

Die Zykluszeit für den Fräsprozess liegt deutlich über dem Kundentakt von 94,5 Sekunden, womit klar ist, weshalb die Fräsmaschinen die Pausen durchlaufen müssen. In diesem Fall gilt mit 108 Sekunden der Kundentakt für den 24-Stundenbetrieb (Gl. 2.2). Berücksichtigt man Ausschuss und Nacharbeit, dann ist der Kundentakt entsprechend anzupassen. Durch die Nacharbeit beim ‚Montieren' reduziert sich dort der Kundentakt auf 92,6 Sekunden (Gl. 2.8). Bei den Fräsautomaten gilt unter Berücksichtigung des Ausschusses von 2 Prozent ein Kundentakt von 105,8 Sekunden (Gl. 2.11). In beiden Fällen liegt die Zykluszeit nur knapp unter dem Kundentakt. Die Produktion kann also den Kundenbedarf im Durchschnitt erfüllen, ist jedoch kapazitativ sehr unflexibel. Beide Prozesse können leicht zum Engpass werden. Daher muss die Lieferfähigkeit auch durch die vorgefundenen hohen Bestände abgesichert werden.

Mit Ausweisung der Verbesserungspotentiale ist die Wertstromanalyse abgeschlossen. Nun kann mit der eigentlichen Aufgabe, für die eine gute Analyse die wesentliche Erfolgsvoraussetzung ist, begonnen werden: der Umgestaltung der Produktion, um ein an den jeweiligen Zielen der Produktion (Abschn. 1.2) orientiertes Optimum zu erreichen. Der erste Schritt bei der Verbesserung des Wertstroms besteht darin, die gesamte Produktion wertstromorientiert zu segmentieren und die jeweils zugeordneten Kapazitäten passend zueinander zu dimensionieren (Abschn. 3.1). Im zweiten Schritt geht es darum, die Produktion insbesondere durch Verbesserung der Produktionsabläufe, aber auch durch technische Änderungen in den Prozessen zum Fließen zu bringen, also die Produktions-Durchlaufzeit zu senken. Dazu dienen die im folgenden Kapitel vorgestellten Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns (Kap. 3).

Potentialanalyse

Zielsetzung ist es, Verbesserungspotentiale im Wertstrom hinsichtlich der Produktions-Durchlaufzeit sowie des Verlaufs des Kapazitätsprofils auszuweisen. Die *Zeitlinie* zeigt, an welchen Engstellen im Produktionsfluss Stauungen des Materials entstehen und wie hoch das Potential zur Verkürzung der Durchlaufzeit ist. Das *Kapazitätsprofil* erleichtert es, die Leistungsfähigkeit der Produktionsprozesse orientiert am Kundenbedarf zu beurteilen und zeigt, wie gut diese aufeinander abgestimmt sind.

Im Einzelnen zeigt sich in der *Wertstromdarstellung*, an welchen Stellen und bedingt durch welche Ursachen einige der folgenden typischen Probleme auftreten:

1. Die Durchlaufzeit ist sehr lang, was sich in hohen Beständen und einer mit Material vollgestellten Fabrik zeigt.
2. Es gibt zahlreiche Eilaufträge, was in der Regel eine Folge der zu langen Durchlaufzeit ist.
3. Die Teilung von Produktionsprozessen durch Läger oder Puffer stört den Produktionsfluss und erhöht den logistischen Aufwand.
4. Die Produktionsstruktur ist unklar hinsichtlich der Zuordnung von Produkten zu Ressourcen.
5. Die Zykluszeit eines Prozesses liegt knapp über dem Kundentakt, was sich in häufigen Produktionsengpässen zeigt.
6. Die Mitarbeiter unterbrechen ihre wertschöpfende Tätigkeit für logistische, qualitätssichernde oder andere nicht stückbezogen durchzuführende Nebenaufgaben.
7. Die Mitarbeiter haben Wartezeiten durch Fehlteile und schlecht abgestimmte Produktionspläne.
8. Einige Ressourcen sind relativ zum Kundentakt deutlich zu leistungsfähig oder weisen einen zu hohen Automatisierungsgrad auf. Dabei treten zudem Wartezeiten der Mitarbeiter an automatisch ablaufenden Maschinen auf.
9. Der EPEI-Wert ist so groß, dass hohe Bestände nicht vermieden werden können und die Produktion sehr unflexibel auf Nachfrageschwankungen reagiert.
10. Die Verfügbarkeit einer Ressource ist so gering, dass dadurch der Kundentakt verfehlt wird.
11. Die Termintreue oder Teilequalität) der Lieferanten ist zu gering und die Lieferzeit für (teure) Teile ist zu groß.

3 Wertstromdesign

Ziel der Wertstrommethode ist die Gestaltung einer wertstromoptimierten Fabrik. Bei der zunächst durchgeführten Wertstromanalyse orientiert man sich am gegenwärtigen Zustand der Produktion (Kap. 2). Wenn es nun im *Wertstromdesign* um die Neugestaltung dieser Produktion geht, dann muss man sich ins Offene eines noch zu entwickelnden Zielzustandes begeben. Um dabei nicht in die Irre zu gehen, ist ein Leitfaden überaus hilfreich. Genau diesen liefert die Methode des Wertstromdesigns mit einem festgelegten und geordneten Set an Gestaltungsrichtlinien, die es im Zuge der verbessernden Umgestaltung der Produktion mit Geschick anzuwenden gilt.

Maßgeblich für die Produktionsgestaltung ist die Ausrichtung am Kundentakt, wie dies in der Potentialanalyse bereits als Gestaltungsrichtlinie 1 formuliert ist (Abschn. 2.4.2). Die weiteren Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns betreffen den Materialfluss, die Steuerung und die Planung. Sie bestehen aus einfachen und bewährten Lösungsbausteinen für den Produktionsablauf. Im Wertstromdesign werden die Auswirkungen dieser Lösungsbausteine auf den Gesamtablauf der Produktion durch ihre graphische Darstellung mit Symbolen besonders deutlich sichtbar. Das Wertstromdesign ermöglicht mit den im Folgenden erläuterten *Gestaltungsrichtlinien* eine systematische Vorgehensweise bei der Konzeption einer kundenorientierten und effizienten Produktion. Die damit einhergehende Visualisierung des Soll-Zustandes liefert eine transparente Darstellung für eine strukturierte Argumentation über die geplanten Verbesserungen in der Produktion.

Trotz ihrer Einfachheit – vielleicht auch gerade wegen der damit verbundenen Allgemeinheit – ist die konsequente Umsetzung der in den Gestaltungsrichtlinien formulierten Lösungsbausteine oftmals schwierig. Die jeweilige Umsetzung setzt eine mehr oder weniger starke konzeptionelle Adaption der Bausteine an die spezifischen Gegebenheiten einer Produktion voraus. Die in den folgenden Abschnitten ausgeführten Erläuterungen zu den Gestaltungsrichtlinien sollen dazu dienen, dies zu erleichtern. Die entsprechenden Lösungsbausteine sind überwiegend in der Automobilindustrie entwickelt worden. Dies ist hier ergänzt durch Anpassungen an die Anforderungen anderer Branchen der Produktion von Stückgut. Dabei

sind insbesondere Erweiterungen in der Konzeption der Auftragsabwicklung sowie in den Methoden der Produktionsplanung und -steuerung für kundenauftragsbezogene Produktionen oder zur Berücksichtigung von Engpässen erforderlich.

Vermeidung von Verschwendung

Die Grundidee des Wertstromdesigns ist die *Vermeidung von Verschwendung* im Produktionsablauf. Dadurch wird der Fokus der Produktionsoptimierung primär auf die Reduktion der Kosten und damit auf die Wirtschaftlichkeit gelegt. Der Terminus ‚Verschwendung' legt aber zugleich fest, dass dies gerade nicht zu Lasten der Leistungsfähigkeit gehen darf, sondern vielmehr sind nur solche Kosten zu eliminieren, die dem Kunden keinerlei Nutzen bringen, für den er bezahlen würde. Ziel ist es also, alle nicht wertschöpfenden Tätigkeiten im Produktionsprozess zu eliminieren und sich auf die wertschöpfenden Tätigkeiten zu konzentrieren. Da auch alle technischen Restriktionen wie Rüstzeiten und Prozessmengen, insofern sie eine Abweichung vom aktuellen Kundenbedarf erforderlich machen, als Verschwendung angesehen werden, stellt sich die Aufgabe der Vermeidung von Verschwendung als eine ähnliche Optimierungsaufgabe dar, wie sie auch das Ablaufplanungsdilemma formuliert (Abschn. 1.2). Nur dass mit dieser Sichtweise bereits über die bloße Problembeschreibung hinaus der Lösungsansatz vorgegeben ist.

Hinter diesem Lösungsansatz steht die Annahme, dass die Hauptquelle von Verschwendung eine *ungleichmäßige Produktion* ist. Diese ungleichmäßige Belastung der Produktion hat zweierlei zur Folge. Einmal führt sie zeitweise zur Überbeanspruchung von Maschine und Personal – mit den entsprechenden Konsequenzen für Zuverlässigkeit, Qualität und Arbeitssicherheit. Zum anderen bedeutet sie zeitweise eine Unterlast, was zu Leerzeiten führt, die mit allerlei in den seltensten Fällen wertschöpfenden Tätigkeiten gefüllt werden. Hierin liegt dann die Verschwendung im engeren Sinn, japanisch als *Muda* bezeichnet. Übergeordnete Zielsetzung beim Wertstromdesign ist es, die Produktion zu vergleichmäßigen – allerdings bei schwankendem Kundenbedarf – und so Verschwendung zu vermeiden.

In Anlehnung an Hitoshi Takeda sollen hier insgesamt sechs Arten von Verschwendung in der Produktion unterschieden werden (Takeda 2002). Hinzu kommt als siebte Verschwendungsart die Verschwendung durch ungeeignete und aufwendige Geschäftsprozesse und IT-Werkzeuge in der Auftragsabwicklung. Die Verschwendung durch Produktion von Schlechtteilen, durch Wartezeiten, durch Transport sowie durch ungünstige Bearbeitungsprozesse sind die vier Verschwendungsarten, die unmittelbar auf *Verschwendungen im Produktionsprozess* zurückgehen. Überproduktion

und Lagerhaltung sind die zwei Verschwendungsarten, die sich auf *Verschwendungen im Produktionsablauf* beziehen. Diese beiden sind neben der Produktion von Schlechtteilen als die schwerwiegendsten anzusehen. Sie werden auch in der Wertstromperspektive besonders gut erkennbar, denn die in der Wertstromanalyse aufgezeigten Potentiale decken genau diese beide Arten von Verschwendung auf: Das Taktabstimmungsdiagramm zeigt die Verschwendung, die durch nicht aufeinander abgestimmte Produktionsprozesse und die dadurch meist verursachte Überproduktion entsteht. Die Zeitlinie zeigt die Verschwendung, die durch lange Durchlaufzeiten und die dadurch bedingten übermäßigen Bestände entsteht. Die Wertstromdarstellung hilft, die jeweiligen Ursachen innerhalb der Produktion genau zu lokalisieren. Im Folgenden sollen nun die sieben Arten von Verschwendung ausführlicher erörtert werden.

Überproduktion Verschwendung durch *Überproduktion* heißt zunächst, über den jeweiligen Marktbedarf hinaus zu produzieren. Innerhalb eines Wertstroms bedeutet Überproduktion, dass man mehr, früher oder schneller produziert, als es für den jeweils nachfolgenden Produktionsprozess erforderlich ist. Ein Produktionsprozess liefert dann also entweder größere Mengen als benötigt oder frühzeitig vor dem geplanten Termin oder mit höherer Ausbringung als erforderlich. Ursache sind punktuelle Überkapazitäten und allgemein in ihrer Kapazität beziehungsweise Zykluszeit schlecht aufeinander abgestimmte Produktionsprozesse. Hinzu kommt, dass es oft auch bei ausgeklügelten Produktionsplänen keine Regeln auf dem Shop Floor gibt, die bei kurzfristigen Abweichungen vom Produktionsplan durch veränderte Bedarfe oder Maschinenstillstände die daraus resultierende Überproduktion an anderer Stelle einschränken. Von zentraler Bedeutung für die Wertstromgestaltung ist es, nicht nur festzulegen, wann produziert werden soll, sondern auch, wann *nicht* produziert werden darf. Aufgabe des Wertstromdesigns ist die Gestaltung einer Ablauflogik, in der ein Produktionsprozess nur das herstellt, was der nächste Prozess benötigt und auch erst dann, wenn er es benötigt.

Lagerhaltung Verschwendung durch *Lagerhaltung* zeigt sich in Beständen an Fertigware, Halbfabrikaten, Rohmaterialien und Zukaufteilen. Bestände finden sich wohl deshalb so häufig und werden auch so hartnäckig verteidigt, weil sie Sicherheit gegenüber Risiken der Materialversorgung und der Anlagenverfügbarkeit bieten. Dem gegenüber erscheinen der Preis der Kapitalbindungskosten und der Liquiditätsverlust akzeptabel, ja fast gering. Erfahrungsgemäß lassen sich aus den Zinseinsparungen selten technische Veränderungen kurzfristig amortisieren. Mindestens doppelt so groß sind die Kosten durch Lagertechnik und erhöhten Flächenbedarf, den zusätzlichen Personalaufwand, die Verwaltung und nicht zuletzt das Ver-

altungsrisiko. Doch auch diese umfassende Betrachtung der Lagerungskosten trifft die eigentliche Problematik der Lagerhaltung nicht.

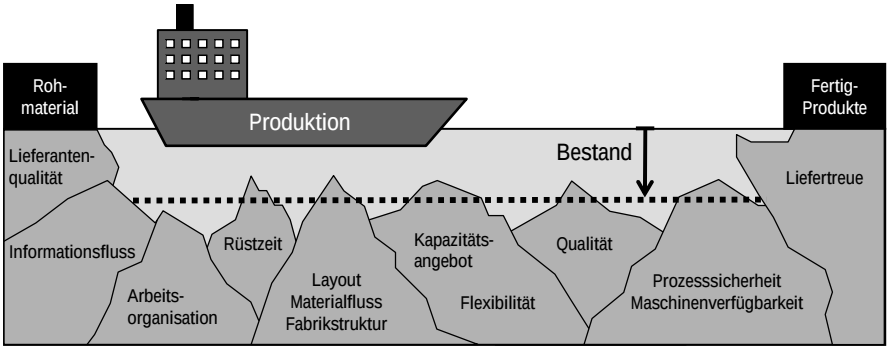


Abb. 3.1. Der Bestand verdeckt die Mängel der Produktion

Die Lagerungskosten könnte man für den angemessenen Preis einer durch Bestände in kontinuierlichem Betrieb gehaltenen Produktion erachten. Doch ein Fabrikbetrieb läuft nicht unbedingt reibungslos, oft ist eher das Gegenteil der Fall. Der wesentliche Nachteil hoher Lagerbestände liegt nämlich darin, dass sie Probleme in der Produktion *verdecken* und deren *Beseitigung verhindern*. Wenn etwas nicht so läuft, wie es sollte, dann ist immer noch etwas zum Ausgleich als Notlösung da – das macht ja gerade das Gefühl der Sicherheit durch die Bestände aus. Diese Bestände erlauben es, eine Produktion ungleichmäßig zu betreiben und trotzdem den Anschein zu erwecken, dass alles glatt läuft. So werden allerdings zahlreiche teure Verschwendungen aller Art zugedeckt – wie das bekannte Bild des Schiffes der Produktion zeigt, das auf dem hohen Wasserstand der Bestände sicher über die Klippen der Probleme und Schwächen im Shop Floor hinweg schwimmt (Abb. 3.1). Der hohe Bestand gleicht unterschiedliche Schwächen aus. Beispielsweise wirkt sich mangelnde interne Termintreue gegenüber dem Produktionsplan dank Vorproduktion nur teilweise auf die Liefertreue aus. Auch können Schlechtteile durch Überproduktion ausgeglichen und ohne weitere Folgen verschrottet werden. Alle Ressourcen können mit großen Losgrößen und hoher Auslastung unabhängig vom aktuellen Kundenbedarf betrieben werden. Und wenn eine Maschine ausfällt, dann dauert es lange, bis dies negative Auswirkungen auf den gesamten Wertstrom hat.

Erst durch eine *kontinuierliche Reduktion der Bestände* kann es gelingen, die zahlreichen Probleme auf dem Shop Floor sichtbar zu machen. Das ist unangenehm, da das Schiff der Produktion ständig der Gefahr einer Kollision mit einer der Problem-Klippen ausgesetzt wird. Aber genau da-

durch wird der nötige Druck erzeugt, um die mit den Problemen einhergehenden Verschwendungen zu reduzieren. Eine kontinuierliche Verbesserung der Produktion kann demnach durch beständiges Senken des Bestandsniveaus angestrebt werden. Aufgabe des Wertstromdesigns ist es, an den richtigen Stellen richtig dimensionierte Sicherheitsbestände vorzusehen und so die Voraussetzung für ein kontinuierlich nach unten führendes Bestandsmanagement zu schaffen.

Abb. 3.2. Wertschöpfung und Verschwendung in der Tätigkeit des Werkers

Verschwendung im Produktionsprozess Der Anteil der eigentlich wertschöpfenden Tätigkeiten, mit denen Teile bearbeitet und schließlich zusammengefügt werden, am gesamten Arbeitsaufwand in der Produktion ist vergleichsweise gering. Der weitaus größere Anteil des Produktionsprozesses ist nicht *Nutzleistung* im eigentlichen Sinne, sondern besteht aus Nebentätigkeiten und offensichtlicher Verschwendung (Abb. 3.2). Nebentätigkeiten wie das Einspannen des Werkstücks in eine Vorrichtung erzeugen eine *Scheinleistung*, weil sie zwar technologiebezogen unvermeidbar sind, aber eben keinen Wert erzeugen, da sie das Werkstück nicht unmittelbar hin zum Produkt wandeln. Diese ressourcenbedingten Stützprozesse wirken, da sie Kosten verursachen, ohne den Wert des Produktes zu erhöhen, wertabschmelzend. Offensichtliche Verschwendung wie Teile- und Werkzeugsuche, Wartezeiten oder das Umpacken von Teilen sind reine

Blindleistung. Diese Tätigkeiten erbringen keinen Wertzuwachs. Sie sind organisatorisch oder logistisch bedingt und daher ohne Änderung der Technologie vermeidbar.

Schlechtteile Die kritischste Tätigkeit ist die *Fehlleistung*, das heißt die Verschwendung durch Produktion von Schlechtteilen. Denn bei Produktionsfehlern ist nicht bloß ein Anteil der Tätigkeit nicht wertschöpfend, sondern die Tätigkeit insgesamt wird wertlos, ja sie vernichtet (zumindest teilweise) zusätzlich noch den in den vorangegangenen Wertschöpfungsprozessen erzeugten Wert. Und wenn der Fehler nicht gleich erkannt wird, dann werden sogar die nachfolgenden, sonst wertschöpfenden Tätigkeiten zu Verschwendung (bei Ausschuss) oder aber zusätzliche Produktionsprozesse werden als Nacharbeit erforderlich. Die Aufgabe des Wertstromdesigns liegt nun darin, ablauforganisatorisch sicherzustellen, dass nur fehlerfreie Teile weitergeben werden, da jede spätere Entdeckung deutlich höhere Folgekosten der Fehlerbeseitigung verursacht. Da nun eine Qualitätskontrolle selbst wiederum eine Nebentätigkeit ist, gilt es zusätzlich, den Aufwand der Qualitätssicherung zu minimieren. Noch besser ist es, gleich hundertprozentige Qualität zu erzeugen und nicht erst im Nachhinein zu erprüfen. Das ist aber auch eine Frage der technischen Machbarkeit.

Bearbeitung Die Verschwendung bei der Bearbeitung betrifft unmittelbar die *technologische Güte* der Produktionsprozesse – bezogen auf die Ressourcen einerseits und die Tätigkeit der Werker andererseits. Zu dieser Verschwendungsart gehören insbesondere Nebenarbeiten und mangelhafte Ergonomie. Eine ungünstige Anordnung der zu greifenden Werkstücke und Werkzeuge sowie der zu bedienenden Vorrichtungen und maschinellen Anlagen bedeutet eine unnötige Belastung der Werker sowie überflüssige Bewegungsabläufe. Hinzu kommen unnötige Gehwege durch die Beschaffung oder Suche von nicht griffbereiten Hilfsmitteln, Werkzeugen oder Teilen. Auf Seiten der Ressourcen tritt Verschwendung dieser Art auf, wenn beispielsweise eine Maschine nicht unmittelbar genutzt werden kann, sondern vorzubereiten ist. Das kann heißen, dass sie zu reinigen ist, dass die Maschine oder Vorrichtungen manuell zu justieren sind, dass die Maschine zunächst in ihre Ausgangsposition fahren muss oder insgesamt lange Leerlaufwege hat oder auch, dass maschinelle Operationen manuell anzutreiben sind. Alle diese ergonomischen und technologischen Verbesserungen können unabhängig von der Wertstromperspektive punktuell angestoßen werden und werden daher hier nicht ausführlich behandelt.

Wartezeit Die Verschwendung durch *Wartezeit* im Produktionsprozess kann zweierlei Ursachen haben. Die eine ist fehlendes Material, was auf Schwierigkeiten der innerbetrieblichen Logistik oder auch der Produkti-

onssteuerung hinweist. Hier ist es wichtig, Füllarbeiten zur Überbrückung des Materialmangels zu verhindern, damit die Verschwendung auffällig und nicht verdeckt wird. Die zweite Ursache besteht darin, dass das Bedienpersonal einer Anlage während der Arbeitsfahrt ohne eine konkrete Tätigkeit lediglich den korrekten Ablauf der Automatik überwacht. Ähnliches gilt für Zwangsmechanismen, bei denen auch aus Gründen der Arbeitssicherheit ein Schalter oder Taster gedrückt gehalten werden muss. In beiden Fällen kann Verschwendung nur vermieden werden, wenn ein Mitarbeiter mehrere Arbeitsplätze hat, wie es bei Mehrmaschinenbedienung oder in einer Fertigungslinie realisierbar ist.

Transport Die Verschwendung durch *Transport* und andere logistische Tätigkeiten wie Ein-, Aus- und Umlagern sowie Sortier- und Kommissioniervorgänge kann zweierlei Ursachen haben. Die eine ist räumlicher Natur. So führt ein ungünstiges Layout zu häufigeren und längeren Transportwegen, als dies bei idealer Anordnung der Ressourcen und Lagerplätze der Fall wäre. Damit kann auch ein häufigeres Ein- und Auslagern einhergehen. Die zweite Ursache ist organisatorischer Natur. So können bei Unterbrechung angearbeiteter Aufträge zusätzliche Transporte anfallen. Ferner sind Fahrwege und Transportreihenfolge selten hinsichtlich der Entfernung minimiert. Oder Teile werden provisorisch irgendwo abgestellt, da Bereitstellplätze nicht ausgewiesen sind, ein Lager übervoll ist oder der Transportauftrag unterbrochen wird. Transportaufwände können durch eine konsequente wertstromorientierte Fabrikplanung nahezu vermieden werden, wenn nämlich im Fluss produziert wird und die Produktionsprozesse entsprechend in der Fabrik angeordnet sind.

Auftragsabwicklung Nicht unmittelbar auf die Produktionsprozesse bezogen wie die bisher genannten sechs Verschwendungsarten ist die Verschwendung bei der *Auftragsabwicklung*. Bei der Wertstromanalyse werden Unzulänglichkeiten bei der Auftragsabwicklung von der Auftragserfassung bis zur Auftragsfreigabe mit der Darstellung des Informationsflusses sehr deutlich aufgezeigt. Sehr augenfällig sind hier zumeist die Mehraufwendungen durch inkompatible Software bei Auftragserfassung, Materialwirtschaft, Produktionsplanung und Produktionssteuerung. Damit einhergehend ist im Regelfall eine verteilte und teilweise mehrfache Datenhaltung. Auch werden oft viele Routineaufgaben der Losgrößenberechnung, Rüstoptimierung, Reihenfolgeplanung, Produktionspapiererstellung und Datenerfassung trotz vorhandenem Produktionsplanungssystem aufgrund seiner mangelnden Eignung oder unzulänglichen Implementierung manuell durchgeführt. Andererseits führen leistungsstarke Planungs- und Steuerungssysteme gerne zu komplexen Steuerungsmechanismen und aufwendigen Auftragsein- und -umplanungen. Eine ungünstige Arbeitstei-

lung zwischen den beteiligten Abteilungen aus Vertrieb, Konstruktion, Einkauf und Produktion kann zu Abstimmungsproblemen und Doppelarbeit führen.

Wertstromdesign zur Neugestaltung einer Produktion

Zielsetzung ist die Neugestaltung der Produktion hin zu einem effizienten und kundenorientierten Wertstrom. Orientierung am Kundentakt sowie eine durchgängige Kundensicht in der Analyse gewährleisten Kundenorientierung. Die Effizienz wird gesteigert durch die Vermeidung von Verschwendung in allen ihren sieben Ausprägungen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den durch Überproduktion und Lagerhaltung hervorgerufenen Verschwendungen im Produktionsablauf sowie aufgrund einer unnötig aufwendigen Auftragsabwicklung. Verschwendungen durch Qualitätsprobleme, ungünstige Bearbeitungsabläufe, Wartezeiten und Transporte in und zwischen den Produktionsprozessen sind durch ständige Verbesserungen kontinuierlich zu reduzieren.

Vorgehen In einem bewährten Set von Gestaltungsrichtlinien für das Wertstromdesign sind die grundlegenden Bausteine zur idealen Gestaltung einer Produktion formuliert. Eine zielorientierte und erfahrungsbasierte Anwendung dieser klaren Gestaltungsrichtlinien überführt den im Ist-Zustand aufgenommenen Wertstrom systematisch in einen hinsichtlich der vier Ziele der Produktion optimierten Soll-Zustand. Dabei können aus der Wertstromperspektive Anforderungen an Technik und Organisation abgeleitet werden, die zu aufeinander abgestimmten Prozessen führen. So werden sowohl technische Innovationen angestoßen, als auch Veränderungen der Gewohnheiten im Produktionsmanagement eingefordert. Die zum angestrebten Zielzustand führenden Einzelmaßnahmen werden in einer Umsetzungsplanung definiert, terminiert und Verantwortlichen zugeordnet.

Ergebnis ist die transparente und übersichtliche Darstellung des angestrebten Soll-Zustandes mit allen Produktionsprozessen sowie deren logistischer Verknüpfung. Die Anwendung der Gestaltungsrichtlinien und die Einbeziehung des gesamten Wertstromes in einer Fabrik gewährleisten die Ausrichtung auf ein Gesamtoptimum des Produktionsablaufes – und nicht auf partielle Suboptima einzelner Produktionsprozesse.

Vorgehensweise

Die *Durchführung* des Wertstromdesigns für ein produzierendes Unternehmen zur Neugestaltung der Fabrik erfolgt in fünf Schritten (Abb. 3.3).

Abb. 3.3. Vorgehensweise beim Wertstromdesign

1. **Produktionsstrukturierung** Der jeweils umzugestaltende Wertstrom bezieht sich auf einen Ausschnitt aus dem Produktionsspektrum einer Fabrik. Ähnlich wie für die Wertstromanalyse Produktfamilien gebildet werden, sind im Wertstromdesign Produktionssegmente zu bilden. Im Rahmen dieser Produktionsstrukturierung werden dem Wertstrom bestimmte Ressourcen fix zugeordnet (Abschn. 3.1).
2. **Kapazitätsdimensionierung** Anschließend werden die einzelnen Produktionsprozesse kapazitativ ausgelegt, technologisch entsprechend der Erfordernisse des Gesamtablaufes umgestaltet und am Kundentakt (vgl. Gestaltungsrichtlinie 1) ausgerichtet. Wichtig bei der Dimensionierung ist der vom Planungsfall abhängige zeitliche Betrachtungshorizont (Abschn. 3.2).
3. **Produktionssteuerung** Die Neugestaltung des Produktionsablaufes beginnt mit den Richtlinien zur Produktionssteuerung. Diese legen fest, auf welche Weise die Produktionsprozesse logistisch zu verknüpfen sind. Damit wird erstens der Materialfluss für den gesamten Produktionsablauf gestaltet sowie zweitens der angesteuerte Produktionsprozess als sogenannter Schrittmacherprozess für den Wertstrom festgelegt (Abschn. 3.3).
4. **Produktionsplanung** Die Gestaltungsrichtlinien zur Produktionsplanung legen fest, in welcher Weise Produktionsaufträge geplant und freigegeben werden. Dazu sind insbesondere die Differenzen zwischen jeweiligem Kundenbedarf einerseits sowie Anforderungen und

Restriktionen der Produktionsprozesse andererseits auszugleichen (Abschn. 3.4).

5. **Verbesserungsmaßnahmen** Die Konzeption schließt ab mit der Definition von konkreten Verbesserungsmaßnahmen zur Erreichung des konzipierten Soll-Zustandes für den Wertstrom, ergänzt um die zugehörige Umsetzungsplanung (Abschn. 3.5).

Erst wenn ein Produktionsablauf in diesen fünf Schritten fertig konzipiert ist, ist es sinnvoll, eine Realplanung von Fabrikgebäude und Fabriklayout durchzuführen. Dabei ist immer auch die Einbettung in Standort und Werk zu berücksichtigen, gegebenenfalls auch mit der Betrachtung unterschiedlicher Varianten im direkten Standortvergleich (Abschn. 4.1). Die Arbeitsorganisation schließlich ermöglicht den wertstromoptimierten Fabrikbetrieb durch strikte Einhaltung der Standards sowie durch Sicherstellung einer beständig hohen Produktionsqualität. Sie ist die wesentliche Komponente eines Produktionssystems (Abschn. 4.2). Auf diese beiden Fragen der räumlichen und organisatorischen Umsetzung kann im Rahmen dieses Buches nur kurz eingegangen werden.

3.1 Produktionsstrukturierung

In einer Fabrik finden sich in der Regel ganz unterschiedliche Technologien zur Produktion mehr oder weniger unterschiedlicher Produkte. Ähnlich wie die Wertstromanalyse bezieht sich das Wertstromdesign auf einen einzelnen Wertstrom, das heißt einen bestimmten Ausschnitt der Fabrik. Diesen Ausschnitt zu definieren entspricht der Aufgabe in der Fabrikplanung, eine *Produktionsstruktur* zu bilden, mit der die gesamte Produktion in Bereiche beziehungsweise Segmente untergliedert wird. Für die Produktionsstrukturierung gibt es zwei grundlegende Ansätze, nämlich – bezogen auf den Produktionsablauf – die horizontale und die vertikale Segmentierung. Die erste orientiert sich an den Merkmalen der erforderlichen Ressourcen, die zweite an den Produktionsabläufen und Merkmalen der Produkte.

Ressourcenorientierte Segmentierung

Kompetenzen Untergliedert man eine Produktion horizontal, also quer zum Produktionsablauf, dann führt man unterschiedliche Arten einer *ressourcenorientierten* Segmentierung durch. Wenn als Kriterium einer geeigneten Fabrikstruktur die Produktionsabfolge in den Hintergrund tritt, dann ist es vorteilhaft, eine Fabrik durch Bündelung von Kompetenzen zu

strukturieren. Dies ist nach *Betriebsmittelarten* oder nach *Qualifikationen* der Mitarbeiter möglich (Abb. 3.4). Typisches Ergebnis der ressourcenorientierten Segmentierung ist die Werkstättenfertigung, bei der einzelne Bereiche nach dem jeweils in ihnen von Maschinen und/oder Mitarbeitern beherrschten Verrichtungsprinzip gebildet werden. Die einzelnen Werkstätten heißen dann beispielsweise Schleiferei oder Fräserei. Zusammengefasst werden Mitarbeiter mit gleichen Qualifikationen wie Dreher oder Fräser. Die Stärke dieses Vorgehens ist zugleich seine größte Schwäche. Durch Konzentration der jeweiligen technologischen Kompetenzen und technischen Fähigkeiten in einem engen Bereich werden Spezialisierung und Spitzenleistungen gezielt unterstützt. Gleichzeitig driften jedoch die Bereiche auseinander, obwohl sie alle gemeinsam für ein Produkt benötigt werden.

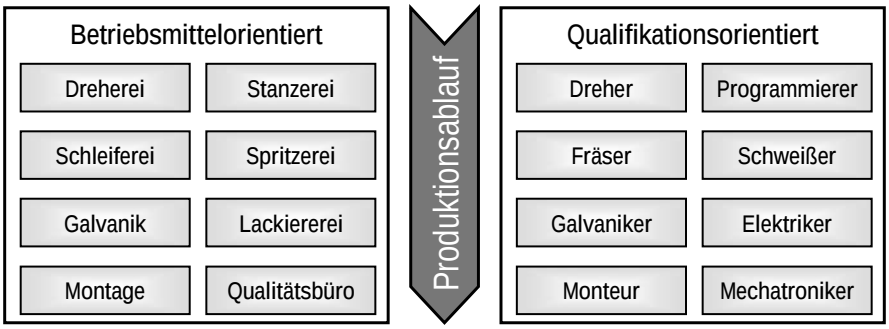


Abb. 3.4. Ressourcenorientierte Segmentierung

Monumente Die Strukturierung quer zum Produktionsablauf widerspricht dem Wertstromgedanken, da sie eine durchgängige Betrachtung von Versand bis Wareneingang erschwert und das Flussprinzip eher behindert denn fördert. Dieses Strukturierungsprinzip soll daher hier nicht weiter vertieft werden. Fabriken weisen jedoch häufig nach diesem Prinzip gewachsene Strukturen auf – und in der Wertstromanalyse zeigen sich dann die aus den Schnittstellen resultierenden Probleme. Insbesondere wenn es große, *zentralisierte Anlagen* gibt, erscheint eine ressourcenorientierte Segmentierung geeignet. Diese maschinentechnischen Monumente weisen häufig aufgrund von Skaleneffekten günstigere Stückkosten auf. Dies ist verstärkt dann der Fall, wenn ein Produktionsprozess spezifische Anforderungen an Infrastruktur und Medienversorgung stellt, wie beispielsweise Schallschutz, Reinraum, Prüfmedien oder Aufbereitungsanlagen. Dieser Kostendegression stehen aber immer die Aufwände gegenüber, die durch die Erschwerung des Produktionsablaufes entstehen, wenn nämlich alle

Teile von unterschiedlichen Vorprozessen durch dieses eine monumentale Nadelöhr geschleust werden müssen.

Produktfamilienorientierte Segmentierung

Produktfamilien Bei der vertikalen Segmentierung wird eine Fabrik entsprechend des Produktionsablaufes für eine Produktfamilie aufgeteilt. So sind alle Produktionsprozesse, die für diese Produktfamilie benötigt werden, in einem Segment zusammengefasst. Im Unterschied zur horizontalen Segmentierung werden gleiche Technologien in jeweils mehreren Segmenten benötigt. Wie bei der Wertstromanalyse (Abschn. 2.1.2) sind die Produktfamilien entsprechend des Produktionsablaufes sowie nach Merkmalen der Rohmaterialien, Teile und Produkte gebildet (Abb. 3.5). Eine an Produktfamilien orientierte, wertstromgerechte Produktionsstrukturierung wird immer eine *produktionsablauforientierte* und *produktmerkmalsorientierte* Segmentierung sein. Die Bildung von Produktfamilien ist damit der erste Schritt einer Produktionsstrukturierung im Wertstromdesign.

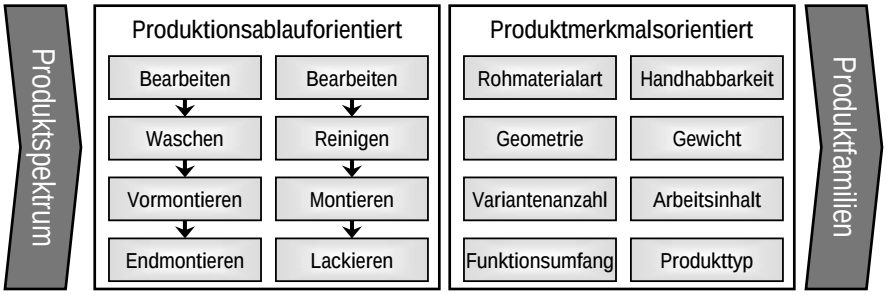


Abb. 3.5. Produktfamilienbildung – erster Schritt der produktfamilienorientierten Segmentierung

Geschäftstypen Für die Wertstromanalyse ist diese Gliederung in Produktfamilien hinreichend. Für die Neugestaltung einer Produktion im Rahmen des Wertstromdesigns müssen die Produktfamilien allerdings daraufhin geprüft werden, ob sie unmittelbar zur Bildung einer Produktionsstruktur geeignet sind. Aus *Marktsicht* könnte die weitere Untergliederung einer Produktfamilie nach Kriterien wie Stückzahlen, Nachfrageverlauf, Marktentwicklung und Wettbewerbssituation sinnvoll sein. Man erhält dann im zweiten Schritt der produktfamilienorientierten Segmentierung Geschäftstypen, mit denen ein Produktionssegment ein bestimmtes Marktsegment mit einer Produktfamilie zielgerichtet bedienen kann (Abschn. 3.1.1).

Ressourcen Ferner ist in manchen Fällen zu berücksichtigen, dass der kumulierte Kapazitätsbedarf einer Produktfamilie nicht ausreicht, um *komplette Ressourcen* zu belegen. Haben beispielsweise zwei derartige Produktfamilien teilweise gemeinsam genutzte Ressourcen, sollte man sie in einem Produktionssegment zusammenfassen. Erst mit Zuordnung der Ressourcen im dritten Schritt der produktfamilienorientierten Segmentierung kann die Praktikabilität einer Produktionsstruktur validiert werden (Abschn. 3.1.2). Wertstromdesign wird demnach für ein Produktionssegment, nicht für eine Produktfamilie durchgeführt.

Ziele der Produktionsstrukturierung

A Anzustrebende Ziele, die sich nur mit einer produktfamilienorientierten Segmentierung optimal realisieren lassen:

- Entflechtung der Materialflüsse und transparent strukturierter Shop Floor.
- Eindeutige Zuordnung der Produktverantwortung hinsichtlich der Flexibilitäts-, Qualitäts-, Zeit- und Wirtschaftlichkeitsziele.
- Minimierung der störanfälligen Schnittstellen.

B Wichtige, bei der produktfamilienorientierten Segmentierung anzustrebende Ziele, die auch mit einer ressourcenorientierten Produktionsstruktur erreichbar wären:

- Erhöhung der Kompetenz der Segmente hinsichtlich segmentbezogener, ergebnisrelevanter Entscheidungen.
- Fokussierung jedes Segments auf marktspezifische Kundenbedürfnisse.
- Einbindung der Mitarbeiter in Veränderungen der Produktionsabläufe und Produktionsprozesse zur Erhöhung von Motivation und Leistung.
- Erhöhung der Mitarbeiterflexibilität durch Mehrfachqualifikation und Jobrotation.
- Zuordnung indirekter Bereiche der Instandhaltung, Logistik und Qualitätssicherung zu den einzelnen Segmenten zur Verbesserung von Leistungsprofil und Kostentransparenz.
- Visualisierung der Zielerreichung auf Segment- oder Arbeitsgruppenebene durch Produktionscontrollingtafeln.

C Ziele, die sich bei einer produktfamilienorientierten Segmentierung nur bedingt erreichen lassen:

- Konzentration technologischer Kompetenzen und technischer Fähigkeiten

3.1.1 Geschäftstypen

Die Kriterien, die zur Bildung von Produktfamilien herangezogen werden, sind rein technologischer (Produktionsablauf) und technischer (Produktgestaltung) Natur. Die Kundensicht, die für die Wertstromanalyse von zentraler Bedeutung ist, findet hier noch keine explizite Berücksichtigung. In der Analyse kann sich ein Wertstrom also auf sehr heterogene Kundenanforderungen und Märkte beziehen. Verschiedene Kundenerwartungen hinsichtlich Lieferzeit, Verpackung und Versandart, Bestellmengen, Bestellfrequenz oder Vertriebsweg erfordern jedoch häufig eine andere Produktionssteuerung. Nun ist es sowohl möglich, diese unterschiedliche Steuerung innerhalb eines Segments zu verwirklichen, als auch für andere Kunden oder Marktsegmente ein eigenes Produktionssegment zu schaffen.

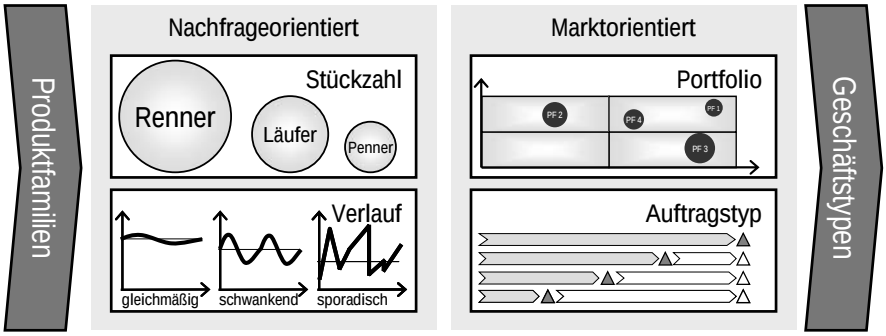


Abb. 3.6. Geschäftstypendefinition – zweiter Schritt der produktfamilienorientierten Segmentierung

Die marktbezogene Untergliederung der Produktfamilien im zweiten Schritt der Segmentierung kann in zweierlei Hinsicht erfolgen: Zum einen als quantitative Datenanalyse der Nachfrage hinsichtlich Menge und Verlauf sowie zum anderen als strategische Einordnung der Produkte hinsichtlich der Wettbewerbspositionierung im jeweiligen Markt (Abb. 3.6). Ergebnis der Betrachtung ist die Festlegung unterschiedlicher *Geschäftstypen* für den Produktionsablauf innerhalb einer Produktfamilie.

Nachfrageorientierte Segmentierung

Für eine *datenorientierte* Analyse der Kundennachfrage hinsichtlich der Stückzahlen unterschiedlicher Varianten innerhalb einer Produktfamilie ist die ABC-Analyse besonders geeignet. Aufgrund ihrer hohen Relevanz bei der Segmentierung sowie der Konzeption der Produktionssteuerung soll sie im Folgenden ausführlich vorgestellt werden.

Die *ABC-Analyse* ermöglicht es, die Objekte einer großen Gesamtheit entsprechend ihrer Relevanz zu sortieren und an Hand von Grenzwerten als A-, B- und C-Objekte zu klassifizieren. Das Ergebnis lässt sich zudem graphisch in einer geordneten Summenkurve übersichtlich darstellen. Bei der Klassifizierung wird davon ausgegangen, dass die analysierten Objekte von stark unterschiedlicher Relevanz bezüglich der Bewertungsgröße sind. Ein kleiner Prozentsatz der analysierten Objekte wird demnach einen wesentlichen Anteil der kumulierten Bewertungsgröße aufweisen. Die A-Objekte erreichen mit einer relativ geringen Anzahl von Elementen einen hohen Anteil am Gesamtergebnis der jeweiligen Bewertung, während C-Objekte mit ihrer relativ großen Anzahl von Elementen nur einen geringen Anteil erreichen. Die Methode erlaubt es also, besonders wichtige Elemente einer Gesamtheit auszuwählen sowie dementsprechend Klassen zu bilden, wobei unterschiedliche Bewertungsgrößen möglich sind. Die hier vorgeschlagene Bewertung nach Stückzahlen betont den logistischen Aspekt der Produktion.

Artikelklasse	Einteilungsvariante: regulär	Einteilungsvariante: invers
A	70% der Stückzahl	10 % der Artikel
B	+20% Stückzahl	20 % der Artikel
C	+10% Stückzahl	70 % der Artikel

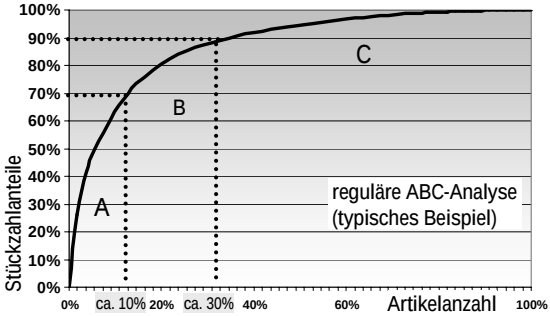


Abb. 3.7. Reguläre und inverse ABC-Analyse

Die Objekte einer Produktfamilie sind die zugeordneten Varianten beziehungsweise Artikelnummern, die aus Produktionssicht mit ihrer Jahresstückzahl bewertet werden. Die Artikel werden nun nach sinkender Stückzahl sortiert, so dass Artikel 1 die maximale und der Artikel mit der höchsten Ordnungsnummer die kleinste Stückzahl haben. Das Ergebnis ist eine charakteristische Summenkurve des kumulierten Jahresbedarfs über die verschiedenen Artikel hinweg (Abb. 3.7, rechts). Bei Gleichverteilung würde sich ein linearer Zusammenhang ergeben – in der Grafik eine Diagonale. Je nach Stückzahlspreizung ist die Kurve dann mehr oder weniger stark nach oben hin ausgebeult. Das Beispiel der Abbildung zeigt einen eher flachen Verlauf, liegt aber innerhalb der typischen Bandbreite, die sich erfahrungsgemäß ergibt.

Die ABC-Klassen können nun auf zweierlei Art und Weise festgelegt werden. Bei der *regulären ABC-Analyse* geht man von Stückzahlgrenzen aus, wobei die Artikel, die der Klasse A zugewiesen werden, 70 Prozent Anteil der kumulierten Stückzahl entsprechen. B-Artikel sind dann die folgenden 20 Prozent Stückzahlanteil und die C-Artikel machen den Rest aus (Abb. 3.7, links). Die vorgeschlagenen Grenzwerte 70/20/10 sind aus pragmatischen Gründen so festgelegt. Man könnte sie auch anders festlegen – in der Literatur findet man auch unterschiedliche Vorschläge, die beispielsweise in der A-Klasse von 60 bis 80 Prozent reichen. Erfahrungsgemäß entsprechen der A-Klasse dann 5 bis 15 Prozent der Artikel. Bei der *inversen ABC-Analyse* geht man umgekehrt vom Anteil der Artikel aus. So definiert man die A-Klasse als 10 Prozent aller Artikel – und ermittelt dann rückwärts, welchem Stückzahlanteil das entspricht. Die Klassifizierungsgrenzen bei der inversen ABC-Analyse sind mit 10/20/70 erfahrungsgemäß am besten festgelegt (Abb. 3.7, links). Die reguläre und die inverse ABC-Analyse zur Klassifizierung der Varianten nach Stückzahlen liefern ein charakteristisches Bild des kumulierten Jahresbedarfs mit jeweils leicht verschobenen Klassifizierungsgrenzen.

Die nach Stückzahlen gebildeten Artikelklassen erhalten mit *Renner*, *Läufer* und *Penner* noch einen sprechenden Namen. Je nach Produktmerkmalen stellt nun ein Rennerartikel in der Regel andere Anforderungen an Produktionseinrichtungen und den Produktionsablauf als ein Pennerartikel. Sind im einen Fall höhere Automatisierungsgrade möglich, stören im anderen Fall die Rüstaufwände. Erzielt man mit den Rennern hohe Lagerumschläge auch bei Lagerfertigung, liegen die Penner viel zu lange im Lager oder sind nie dann vorrätig, wenn man sie braucht. Eine unterschiedliche ABC-Klasse kann also eventuell die Bildung eines eigenen Segments sinnvoll machen. Auch wenn man sich dazu nicht entscheidet, so ist es doch in der Regel angezeigt, einen unterschiedlichen Planungs- und Steuerungsablauf innerhalb eines Segments für Artikel unterschiedlicher Klassen zu realisieren (Abschn. 3.3.3). Je nach ABC-Klasse kann ein anderer Geschäftstyp vorliegen, dem entweder ein eigenes Segment zugeordnet wird oder der innerhalb eines Segmentes mit einem eigenständigen Produktionsablauf abgewickelt wird.

Eine weitere Form der Massendatenanalyse ist die *XYZ-Analyse*. Diese auf den Variationskoeffizienten bezogene Massendatenanalyse klassifiziert die Artikel danach, ob der Kundenbedarf im zeitlichen Verlauf eher gleichmäßig, mehr schwankend oder nur sporadisch auftretend ist. Da sie nur von geringerer Bedeutung für die Segmentierung ist, soll sie hier nicht weiter erörtert werden.

Marktorientierte Segmentierung

Wenn man bestimmte Marktsegmente oder bestimmte Großkunden beziehungsweise Kundengruppen gezielt ansprechen möchte, kann es sinnvoll sein, ein Produktionssegment für diesen Zweck zu bilden. Manche Kunden auditieren die Produktion ihres Produktes – wenn man Kunden mit unterschiedlichen Anforderungen, gar aus verschiedenen Branchen beliefert, kann auch das ein Grund zur kundenorientierten Segmentierung sein. Ferner können unterschiedliche Vertriebswege unterschiedliche Anforderungen an Verpackung, Versandart, Lieferzeit, Liefermenge und Gebindemenge stellen. Das gleiche Produkt mag beispielsweise mit einem Paketdienst an einen Einzelkunden, in größeren Mengen als Ganzpalette mit dem eigenen Lkw zur Vertriebstochter oder in Mischpaletten mit einer Spedition zum Handel auszuliefern sein. Je nach Fertigungstiefe können diese Aspekte der Distribution auf die Segmentierung einen Einfluss haben. Alle diese *marktorientierten* Klassifizierungen von Produkten sind strategischer Natur und sind daher im Unterschied zur Massendatenanalyse mit qualitativen Methoden zu bilden.

Zur marktorientierten Klassifizierung von Produkten eignet sich besonders die *Portfolioanalyse*. Zwei Kenngrößen spannen die beiden Achsen eines Portfolios auf. In der Regel können die Kenngrößen zwei Ausprägungen annehmen – und zwar normalerweise hoch/niedrig; es sind aber auch je nach Kenngröße andere Ausprägungen definierbar. Im Ergebnis erhält man vier Felder und damit vier Klassen in einer zweidimensionalen Matrix. Jede dieser Klassen ist insbesondere dadurch charakterisiert, dass sie unterschiedliche Zielsetzungen beschreibt und umgekehrt auch erforderlich macht, sofern die Klassenzuordnung erhalten werden soll. Jedem Feld eines Portfolios können also spezifische Zielsetzungen und Handlungsoptionen zugewiesen werden, die dann für alle Elemente in dem entsprechenden Feld verbindlich sind. Im Folgenden sollen mit dem Marktchancen-Marktattraktivitäts-Portfolio sowie dem Erfolgsfaktoren-Portfolio zwei für die Segmentierung besonders nützliche Portfolios vorgestellt werden. Außerdem kann der Kundenentkopplungspunkt zur Geschäftstypendefinition herangezogen werden.

Marktchancen-Marktattraktivitäts-Portfolio Zur Einordnung in das von der Boston Consulting Group entwickelte Marktchancen-Marktattraktivitäts-Portfolio werden die bereits definierten Produktfamilien hinsichtlich ihres derzeitigen *Marktanteils* sowie ihres erwarteten *Marktwachstums* jeweils nach dem Kriterium hoch/niedrig klassifiziert (Abb. 3.8). Anschließend werden sie in diesem Portfolio mit Kreisen eingetragen, deren Größe den derzeitigen *Umsatz* wiedergibt. Im Feld der ‚Stars' befinden sich jene Produktfamilien, die in einem aufstrebenden Markt bei hohem Marktanteil

gute Wettbewerbschancen bieten. Zielsetzung in diesem Feld ist es, den bereits hohen Marktanteil leicht auszubauen oder zumindest zu halten. Die ‚Cash Cows' tragen hauptsächlich zum Umsatz bei. Da sie aber nicht zur spezifischen Kompetenz des fraglichen Unternehmens gehören, könnte aus strategischen Gründen auch ein langsamer Abbau des Marktanteils sinnvoll sein. Bei den ‚Question Marks' ist aus strategischer Sicht Vorsicht und dementsprechend bei intensiver Marktbeobachtung selektiver Aus- oder Abbau angeraten. Von Produktfamilien, die einen geringen Marktanteil in einem Markt mit geringen Wachstumschancen aufweisen (‚Poor Dogs'), sollte man sich trennen. Übergeordnetes Ziel ist es also, die beiden Felder mit niedrigem Marktanteil mit möglichst wenig Umsatz zu belegen.

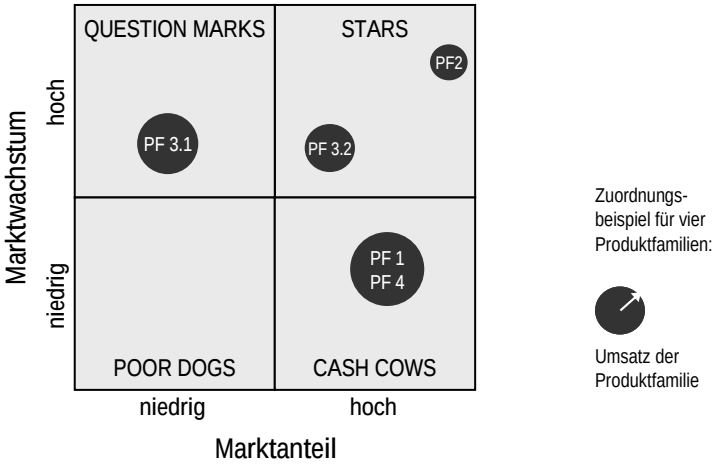


Abb. 3.8. Marktchancen-Marktattraktivitäts-Portfolio

Die im ersten Schritt der Segmentierung nach Produktionsablauf und Produktmerkmalen gebildeten *Produktfamilien* werden sich im Portfolio nicht immer eindeutig *zuordnen* lassen. Enthält eine Produktfamilie Produkte aus zwei unterschiedlichen Feldern, dann ist sie entsprechend in zwei Geschäftstypen aufzuteilen (im Beispiel die Produktfamilie 3 in PF 3.1 und PF 3.2, Abb. 3.8). Sind Produktfamilien nach diesen Marktkriterien hingegen identisch, dann kann man sie zusammengefasst darstellen (im Beispiel die Produktfamilien 1 und 4, Abb. 3.8); die Trennung der Produktfamilien bleibt allerdings bestehen. Es lassen sich aber auch Unterschiede innerhalb eines Feldes darstellen (im Beispiel sind die Produktfamilien 2 und 3.2 ‚Stars' unterschiedlicher Ausprägung, Abb. 3.8).

Die aus dem Portfolio abgeleiteten strategischen Entscheidungen haben Auswirkungen auf *Ressourcenzuordnung* und Investitionen. ‚Cash Cows'

brauchen beispielsweise zuverlässige Betriebsmittel; das hohe Volumen bei geringer Änderungsfrequenz ermöglicht Lagerfertigung und der gesättigte Markt erwartet bei diesen eher standardisierten Produkten eine kurze Lieferzeit. Bei den ‚Stars' spielt die Auslastung eine geringere Rolle, schon allein weil auch Wachstumschancen realisierbar sein sollen. Bei den ‚Question Marks' wird man sehr flexibel sein müssen, um je nach Marktentwicklung die Ressourcen gegebenenfalls auch anders einsetzen zu können. Ferner sollte man möglichst auftragsorientiert produzieren, da eine Lagerfertigung hier ein hohes Veraltungsrisiko bedeuten würde. Bei den ‚Poor Dogs' wird man nicht investieren, sondern ihnen eher ältere oder jene Betriebsmittel zuweisen, die für die anderen Produktfamilien am wenigsten geeignet sind. Auch die Erreichung logistischer Ziele wird hier eine niedrigere Priorität als bei den anderen Produkten haben.

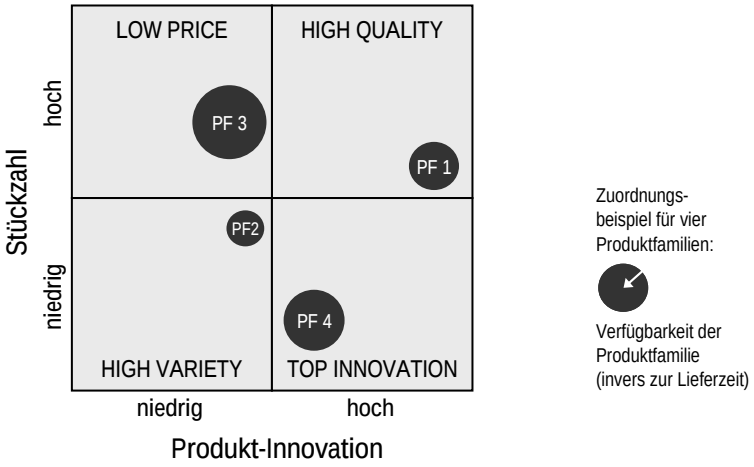


Abb. 3.9. Erfolgsfaktoren-Portfolio

Erfolgsfaktoren-Portfolio Beim Erfolgsfaktoren-Portfolio werden die Produktfamilien nach *Stückzahl* und *Innovationsgrad* klassifiziert (Abb. 3.9). Je nach Ausprägung – hoch oder niedrig – sind unterschiedliche Zielsetzungen zu verfolgen, um am Markt erfolgreich sein zu können. Um mit niedrigem Innovationsgrad erfolgreich sein zu können, wird man nur mit marktbezogen niedrigen Preisen zu hohen Stückzahlen kommen – mit der entsprechenden Produktfamilie ist die Kostenführerschaft am Markt zu übernehmen (‚Low Price'). Gewissermaßen spiegelbildlich dazu sind hoch innovative Produkte, die mangels umfangreicher Erfahrung im Einsatz und den damit verbundenen Funktionsrisiken, aufgrund höherer Preise und eines kleinerem Kundenkreises nur in kleinen Stückzahlen am Markt plat-

ziert werden können (‚Top Innovation'). Hohe Stückzahlen mit innovativen Produkten wird man erst dann erreichen können, wenn eine zuverlässig hohe Qualität sichergestellt ist und mit der entsprechenden Produktfamilie die Kompetenzführerschaft erreicht wird (‚High Quality'). Niedrige Stückzahlen bei nicht-innovativen Standardprodukten beschreiben ein Feld, das man meiden sollte, es sei denn, man kann sich als Nischenanbieter platzieren, der mit konventioneller Technologie eine hohe Varianz an Kundenwünschen bedienen kann (‚High Variety'). Die Verfügbarkeit der Produkte für den Kunden, das heißt die *Lieferzeit*, ist ein Erfolgsfaktor, der in allen vier Feldern mit unterschiedlicher Priorität noch hinzu kommt und möglichst groß sein sollte. Eine Produktfamilie mit kurzer Lieferzeit wird demnach mit einem Kreis mit großem Durchmesser im Portfolio eingetragen. Dieses Portfolio greift die im logischen Zielquadrat formulierten Produktionsziele auf (Abschn. 1.2.2).

Je nach Erfolgsfaktor werden auch die benötigten Ressourcen und die implementierten Produktionsabläufe andere Anforderungen erfüllen müssen. Innovative Produkte lassen sich schlecht in veralteten Low-Cost-Fabriken produzieren, sofern man potentielle Kunden nicht in die Flucht schlagen, sondern ihnen die Fabrik auch zeigen können möchte. Das gilt verstärkt dann, wenn die Produktinnovation hauptsächlich vom Produktdesign getragen wird. Passend zur High-Tech-Fabrik könnte man niedrigpreisige Produkte in einem eigenen Segment mit hoch automatisierten Betriebsmitteln produzieren. Die Lieferzeit bei diesen Standardprodukten sollte minimal sein, da in diesem Feld von zahlreichen Konkurrenzanbietern auszugehen ist. Diese automatisierte Herstellung preisgünstiger Produkte rechnet sich nur bei höherem Lohnniveau. Würde man diese Produktfamilie an einem Standort mit niedrigen Lohnkosten ansiedeln, ist auf möglichst billige, manuelle Betriebsmittel zurückzugreifen. Die gleiche Produktfamilie kann demnach je nach Standort ganz unterschiedliche Anforderungen an die Produktion und damit indirekt auch an die Segmentierung stellen. Die explizite Berücksichtigung der Erfolgsfaktoren bei der Produktionsstrukturierung ermöglicht somit auch eine *standortübergreifende Segmentierung*. Dabei sind allerdings von der Versorgungs- bis zur Distributionslogistik zahlreiche andere Faktoren zu berücksichtigen, worauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden kann.

Kundenentkopplungspunkt Geschäftstypen, die sich aus der unterschiedlichen Kundenspezifik der Produkte ableiten, unterscheiden sich meist durch die Lage des *Kundenentkopplungspunktes*. An dieser Stelle werden den Materialien, Teilen oder Produkten konkrete Kundenaufträge zugewiesen, davor liegt dann jeweils die kundenanonyme Vorproduktion. Je nach Variantenreichtum oder Kundenspezifik einer Produktfamilie liegt

der Kundenentkopplungspunkt sinnvoller Weise jeweils an anderer Stelle im Prozessablauf. Falls Variantenbreite oder Kundenspezifik Auswirkungen auf die Gestalt der jeweils benötigten Ressourcen haben, ist die Bildung unterschiedlicher Produktfamilien nach dem Kriterien der Produktmerkmale zu empfehlen (Abschn. 2.1.2). Unabhängig davon besteht auch die Möglichkeit, innerhalb einer Produktfamilie in Abhängigkeit von Varianz und Kundenspezifik eines Produktes verschiedene Geschäftstypen zu bilden. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn zwar die Ressourcenanforderungen in etwa gleich sind, die Auftragsabwicklung aber völlig verschieden sein muss. So ist etwa eine kundenanonyme Lagerfertigung nur dann möglich, wenn die Produkte keine kundenspezifischen Merkmale aufweisen; während es gleichzeitig ungünstig ist, bei einer Variantenfertigung alle Varianten auf Lager zu haben, auch wenn dies prinzipiell möglich wäre.

Geschäftstypen

Je nach Nachfrageverhalten, Marktstrategie, Erfolgsfaktoren sowie Lage des Kundenentkopplungspunktes kann es unterschiedliche technologische und logistische Anforderungen an die Produktion geben. Gleiche Anforderungen werden durch jeweils einen Geschäftstypen beschrieben, so dass neben einer eindeutigen Zuordnung sowohl eine Produktfamilie mehrere Geschäftstypen enthalten kann als auch mehrere Produktfamilien dem gleichen Geschäftstyp zugeordnet werden können. Bei der Segmentierung ist beides zu berücksichtigen.

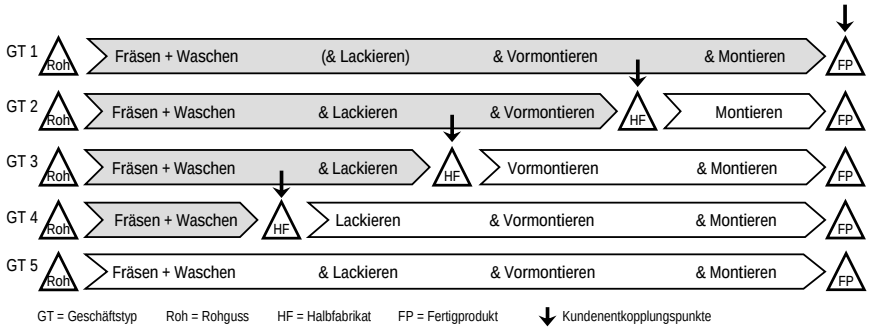


Abb. 3.10. Geschäftstypen bei Liquipur

Fallbeispiel Bei Liquipur lassen sich fünf Geschäftstypen unterscheiden (Abb. 3.10). Der erste Geschäftstyp entspricht einer kundenanonymen Lagerfertigung, wobei nur ein Teil der zugeordneten Produkte lackiert werden. Beim fünften Geschäftstyp erfolgt die Produktion ausgehend vom Rohgussteil komplett kundenauftragsbezogen. So können beim Fräsen beispielsweise kundenspezifische Boh-

rungen berücksichtigt werden. Entsprechend des vierten Geschäftstyps produzierte Produkte können in kundenspezifischer Farbe lackiert werden, verwenden aber bearbeitete Standardteile. Bei den Geschäftstypen 2 und 3 kann eine hohe Variantenbildung in der Montage berücksichtigt werden.

3.1.2 Ressourcenzuordnung

Nachdem nunmehr nach produktionsablauforientierten, produktmerkmalsorientierten, nachfrageorientierten und marktorientierten Kriterien Produktfamilien gebildet und Geschäftstypen definiert sind, gilt es im abschließenden Schritt der Segmentierung, jeder Produktfamilien-Geschäftstyp-Kombination die benötigten *Ressourcen zuzuordnen*. Die zahlreichen Kriterien, die als relevant zur Produktionsstrukturierung erachtet werden können, führen in aller Regel zu einer recht hohen Anzahl unterschiedlicher Produktfamilien und Geschäftstypen. In der Ressourcensicht wird man dann schnell merken, dass die Anzahl der Betriebsmittel bei weitem nicht ausreichend ist, um alle Produktfamilien und Geschäftstypen jeweils komplett eigenständig zu versorgen. Dieser Effekt ist zunächst durchaus erwünscht, da es nur nach relativ feiner Untergliederung des Produktspektrums möglich ist, eine vom Ist-Zustand gelöste Neustrukturierung der Produktion zu erhalten.

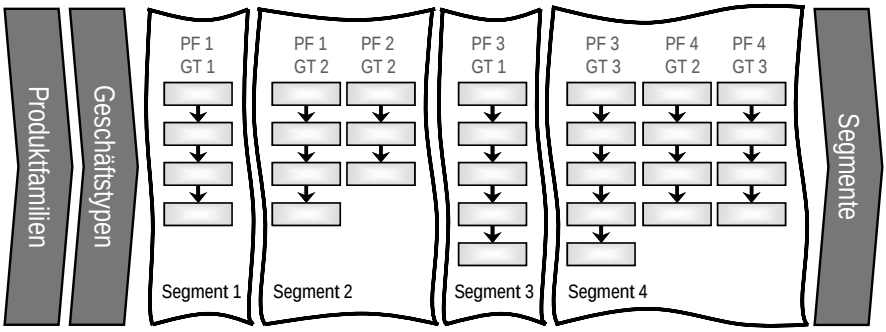


Abb. 3.11. Ressourcenzuordnung – dritter Schritt der produktfamilienorientierten Segmentierung

Im dritten Schritt der Segmentierung sind die nach Geschäftstypen aufgeteilten Produktfamilien wieder neu so zusammenzufassen, dass gemeinsam genutzte Ressourcen ausschließlich innerhalb eines Segmentes auftreten. Entscheidend ist, dass ein Segment die kompletten Wertströme der jeweiligen *Produktfamilien-Geschäftstyp-Kombination* enthält und kein Wertstrom über mehrere Segmente läuft. Nach Maßgabe der ressourcenbedingten Restriktionen werden also die Produktionsablaufschemata teil-

weise zusammengefasst (Abb. 3.11). So kann es dann innerhalb eines Segmentes ein oder mehrere Produktfamilien mit einem oder mehreren Geschäftstypen geben. Die jeweils zugeordneten Ressourcen bilden dann die Segmente. In der Abbildung sind die verschiedenen Möglichkeiten dargestellt – es gibt in einem Segment ein oder zwei Produktfamilien, einen oder ausnahmsweise zwei Geschäftstypen sowie ein bis drei zusammengefasste Kombinationen.

In einem Segment sollte man ausschließlich ähnliche Produktfamilien und Geschäftstypen entsprechend der folgenden drei *Ähnlichkeitskriterien* zusammenfassen:

- Der *Produktionsablauf* ist ähnlich. Typisch in diesem Fall ist, dass eine Produktfamilie einen Produktionsprozess überspringt oder einen alternativen Prozess durchläuft. Alle anderen Produktionsprozesse sind hingegen gleich.
- Die für den Gesamtablauf benötigten *Betriebsmittel* sind ähnlich oder gleich. Durch spezifische Produktmerkmale einer Produktfamilie gibt es keine Zusatzanforderungen an Ressourcen oder Infrastruktur, die für die anderen Produktfamilien des Segments nicht erfüllt sein müssen. So bestehen also beispielsweise gleiche Anforderungen an den Automatisierungsgrad, an die verwendeten Medien, an den Bauraum der Maschinen und auch an Transporthilfsmittel.
- Die *Geschäftstypen* sind gleich oder ähnlich. Die zusammengefassten Produktfamilien haben beispielsweise den gleichen Kundenentkopplungspunkt, verwenden Gleichteile, benötigen aber unterschiedliche Ressourcen.

Falls für einen bestimmten Produktionsprozess in mehreren Produktfamilien die gleiche Ressource benötigt wird, ist man häufig trotz sonstiger großer Unterschiede auch zur Zusammenfassung genötigt. Dies ist der Fall bei einer Ressource, die im Vergleich zu den anderen Ressourcen eine sehr hohe Kapazität besitzt und oft aufgrund der geringeren Stückkosten beschafft wurde. Diese Art von Anlagen passt sehr gut zur ressourcenorientierten Segmentierung und liegt damit quer zur hier intendierten Wertstrombetrachtung. Diese Art der Zusammenfassung von Produktfamilien wird immer einen Kompromiss zweiter Wahl darstellen, da sich meist Wertströme ganz unterschiedlicher Produktfamilien an einer Stelle überlagern – und dabei gerne auch sinnbildlich verknoten. Die vermeintliche Flexibilität der Anlage, alle Teile fertigen zu können, wird dann sehr schnell zum Hindernis und zur Flexibilitätsbremse, weil dann alle Teile mitunter recht lange darauf warten, auf diesem teuren Engpass in großen Losen bearbeitet zu werden.

In diesen ungünstigen Ausnahmefällen gibt es eine *zentrale Ressource*, über die dann (fast) alle Wertströme fließen. Strenggenommen könnte man hier gar nicht produktfamilienorientiert segmentieren; man müsste also wegen des einen maschinellen Monuments auf die Vorteile der Segmentierung verzichten. In solchen Fällen ist es jedoch empfehlenswert, diese großen, unteilbaren Anlagen als eine segmentübergreifende Ausnahme zuzulassen. In diesem Fall ist dann das Kapazitätsangebot des Monuments den einzelnen Segmenten je zeitweilig zuzuordnen. Diese Aufgabe der Produktionsplanung kann beispielsweise mit einem segmentübergreifenden Ausgleichskasten realisiert werden (Abschn. 3.4.2). Das funktioniert analog zur verbreiteten Kapazitätsreservierung, ist aber flexibler, da die Kapazitätszuordnung zu den Segmenten in Abhängigkeit vom Nachfragemix variabel ist. Es ist allerdings zusätzlich zu beachten, dass einzelne Segmente kapazitativ nicht überlastet werden.

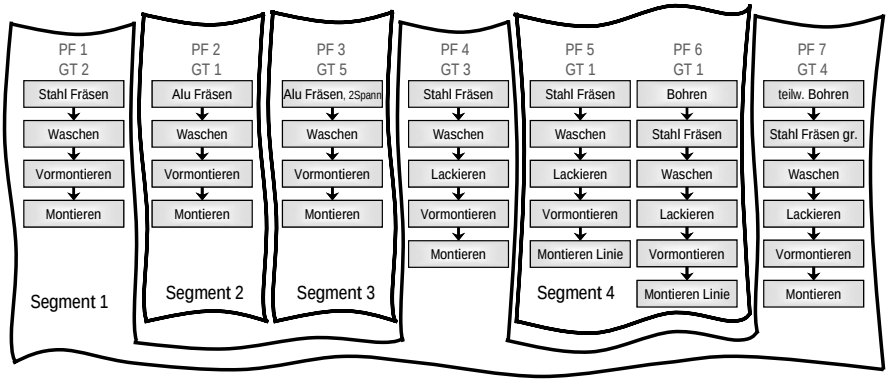


Abb. 3.12. Segmentbildung bei Liquipur

Fallbeispiel Bei Liquipur lassen sich sieben Produktfamilien zu vier Segmenten zusammenfassen (Abb. 3.12). Die Segmente 2 und 3 entsprechen den Produktfamilien mit gleicher Nummerierung und Aluminium-Gehäusen. Die Geschäftstypen unterscheiden sich jedoch: Segment 2 ist mit Geschäftstyp 1 eine Lagerfertigung, Segment 3 ist mit Geschäftstyp 5 eine kundenspezifische Sonderfertigung bereits beim Fräsen (Abb. 3.11). Segment 4 umfasst zwei Serienproduktfamilien, die auf zwei unterschiedlichen Linien montiert werden, jedoch eine gemeinsam genutzte, automatische Lackieranlage erhalten. In Segment 1 sind verschiedene, eher stückzahlschwache und variantenreiche Produktfamilien zusammengefasst. Die Produktionsabläufe dieses Segments unterscheiden sich in der Fertigungstiefe, nutzen aber mit Montage-Einzelplätzen und manuellen Lackierzellen ähnliche Betriebsmittel.

Produktfamilienorientierte Segmentierung

Wesentliches *Ziel* der produktfamilienorientierten Segmentierung ist die strikte Entflechtung der Materialflüsse, um einen hinsichtlich Produkt und Produktionsprozess transparent strukturierten Shop Floor zu erreichen. So wird die Kundensicht in der Fabrikstruktur implementiert.

Vorgehen Das Produktspektrum ist im ersten Schritt hinsichtlich Produktionsablauf und Produktmerkmalen in Produktfamilien zu untergliedern. Diesen Produktfamilien sind im zweiten Schritt je nach Nachfrageverhalten, Marktstrategie, Erfolgsfaktoren und Kundenentkopplungspunkt geeignete Geschäftstypen zuzuordnen. Schließlich sind im dritten Schritt diesen Produktfamilien-Geschäftstyp-Kombinationen die benötigten Ressourcen zuzuordnen.

Ergebnis Damit sind die Segmente der Fabrik gebildet. Sie können im Folgenden technologisch und organisatorisch ausgestaltet werden.

Mit Abschluss der Segmentierung sind den jeweiligen Produktionsprozessen Ressourcen zugeordnet. Diese werden meist dem Ist-Zustand entnommen, oder, falls eine Kapazitätserweiterung ansteht, als „Klone“ vorhandener Ressourcen ergänzt. Diese Zuordnung dient der Beschreibung der Segmente und ist als erster Grobentwurf zu verstehen, lediglich interpoliert aus dem Ist-Zustand. Sie bildet die Basis für die anschließende Dimensionierung und Neugestaltung der Produktionsprozesse (Abschn. 3.2). Durch kundentaktorientierte Verbesserungen der Prozesse und Betriebsmittel kann sich auch der Kapazitäts- und Ressourcenbedarf je Segment deutlich ändern. Da dies Rückwirkungen auf die Segmentierung haben kann, sind die Segmente gegebenenfalls iterativ zu korrigieren.

3.2 Gestaltung der Produktionsprozesse

Im Anschluss an die Segmentierung einer Fabrik (Abschn. 3.1) erfolgt die technologische Gestaltung der Produktionsprozesse durch Dimensionierung und Neugestaltung. Bei der *Dimensionierung* werden zunächst die für einen Produktionsprozess benötigten Betriebsmittel kapazitativ ausgelegt. Sofern sich die Bearbeitungszeiten unmittelbar aus der eingesetzten Technologie ergeben, besteht die Aufgabe in der Ermittlung der erforderlichen Anzahl gleichartiger Betriebsmittel (Abschn. 3.2.1). Ergänzend können aber auch das Leistungsprofil eines Betriebsmittels oder die eingesetzte Technologie überdacht werden. Die dadurch geänderten Bearbeitungszeiten haben wiederum einen Einfluss auf die erforderliche Anzahl alternati-

ver Betriebsmittel pro Prozessschritt. Die Kapazitätsdimensionierung ist insbesondere bei Fertigungsprozessen von hoher Bedeutung, da Fehldimensionierungen zu schlechten Auslastungen oder hinderlichen Engpässen führen.

Bei der anschließenden Neugestaltung der Produktionsprozesse durch eine möglichst weitgehende *Integration* in Fließfertigungsprozesse werden die zuvor dimensionierten Betriebsmittel gegebenenfalls über mehrere Produktionsschritte hinweg zusammengefasst (Abschn. 3.2.2). Durch mitunter drastische Veränderungen einzelner Produktionsprozesse gegenüber dem Ist-Zustand kann es hierbei auch zu entsprechend starken Veränderungen der eingesetzte Betriebsmittel und damit des Ressourcenbedarfs kommen. Die Prozessintegration ist besonders für Montageprozesse geeignet, da hier erfahrungsgemäß die höchsten Effizienzsteigerungen erreicht werden können. In ähnlicher Weise lassen sich aber auch Bearbeitungsmaschinen zu Linien verkoppeln oder einzelne Fertigungsprozesse in Montagelinien integrieren.

Aufgrund der Planungslogik können sich zusätzliche Anforderungen an das Kapazitätsprofil eines Wertstroms ergeben. So kann es erforderlich sein, dass das gewünschte Kapazitätsangebot eines Wertstroms über alle Produktionsschritte hinweg nicht exakt gleichmäßig verläuft, sondern definierte Überkapazitäten vorgehalten werden (Abschn. 3.4). Die Dimensionierung der Ressourcen ist also eventuell im Verlauf des Wertstromdesigns *iterativ* zu revidieren.

3.2.1 Kapazitative Dimensionierung der Ressourcen

Der *Ressourcenbedarf* in einem Segment wird für jeden Prozessschritt durch die Anzahl parallel eingesetzter Betriebsmittel ausgedrückt – und muss daher ganzzahlig sein. Entsprechend der ersten Gestaltungsrichtlinie (Abschn. 2.4.1) wird der Kundentakt genutzt, um das Kapazitätsangebot passend zum Kundenbedarf auszulegen. Die Anzahl benötigter Ressourcen ergibt sich demgemäß aus der Gegenüberstellung von Bearbeitungszeit auf einem Betriebsmittel und dem Kundentakt.

Falls die Bearbeitungszeit größer als der Kundentakt ist, wird für den Prozessschritt mindestens eine zusätzliche Ressource benötigt, so dass die Zykluszeit als Quotient von Bearbeitungszeit und Ressourcenanzahl entsprechend unter den Wert der Bearbeitungszeit sinkt. Der minimale Ressourcenbedarf ergibt sich demgemäß aus der Division von Bearbeitungszeit und Kundentakt. Das Ergebnis ist aufzurunden, da es keine teilbaren Betriebsmittel gibt. Dieser Zusammenhang gilt unter idealen technischen Bedingungen, wie sie beispielsweise eine flexible, wartungsarme Monta-

gelinie aufweist. Im Normalfall reduzieren Wartung und Instandhaltungsarbeiten, Störungen mit Ausfall oder reduzierter Ausbringung, Ausschussproduktion sowie Rüstvorgänge und Anlaufverluste das Kapazitätsangebot eines Betriebsmittels. Die verbleibende Kapazität wird mit der Kennzahl Overall Equipment Efficiency (OEE) angegeben. In der Fertigung muss man von einem Verlust von zwanzig Prozent oder mehr ausgehen. Aufgrund der deutlich geringeren Kapazität eines Betriebsmittels ist deren Anzahl entsprechend zu erhöhen. Damit ergibt sich für die Berechnung der benötigten *Anzahl* an Ressourcen:

$$\#\text{Res} = \text{AUFRUNDEN}\left[\frac{BZ}{KT \times OEE}\right] \tag{3.1}$$

mit: # Res Ressourcenbedarf
BZ Bearbeitungszeit
KT Kundentakt
OEE Overall Equipment Efficiency

Bei einer Variantenfertigung erfordert die Kapazitätsauslegung einen höheren Rechenaufwand, sofern die Bearbeitungszeiten je Variante voneinander abweichen. In diesem Fall ersetzt man die einheitliche Bearbeitungszeit in Gleichung 3.1 durch die stückzahlgewichtete mittlere Bearbeitungszeit.

Im Ergebnis sollte die Kapazität eines Produktionsprozesses so dimensioniert sein, dass die Zykluszeit knapp unter dem Kundentakt liegt. Da Betriebsmittel in ihrem Kapazitätsangebot sprungfix skaliert sind, entstehen durch das *Aufrunden* Überkapazitäten. Der Zwang zum Aufrunden auf komplette Betriebsmittel wirkt sich insbesondere dann stark negativ auf die Investitionssumme aus, wenn man kaufmännisch betrachtet hätte abrunden müssen, der zusätzliche Ressourcenbedarf also unter einer halben Maschine liegen würde. Alternativ bietet es sich hier an, den Ressourcenbedarf zu reduzieren, bis der abgerundete Wert erreicht ist. Ansatzpunkte hierzu wären:

- Erhöhung der spezifischen Leistungsfähigkeit der jeweiligen Betriebsmittel durch Reduktion der Bearbeitungszeiten je Teil.
- Verbesserung der technischen Verfügbarkeit, meist erreichbar durch eine effizientere Wartung, die gut organisiert schneller durchgeführt wird und Störungen besser vorbeugt.
- Deutliche Senkung der Rüstzeiten, durch technische und organisatorische Maßnahmen wie hauptzeitparalleles Rüsten, rüstfreundliche Vorrichtungen, vergrößertes Werkzeugmagazin.

- Erhöhung der Betriebszeit einer Ressource gegenüber der ursprünglichen Berechnungsgrundlage, beispielsweise durch Wochenendschichten oder durchgearbeitete Pausen.
- Zuordnung einer Produktvariante zu einer anderen Produktfamilie in einem anderen Segment und damit Verschiebung des Ressourcenbedarfs in ein Segment mit Überkapazität.

Eine weitere Möglichkeit, Überkapazitäten zu vermeiden, besteht darin, den rechnerischen Kapazitätsbedarf abzurunden und für den verbleibenden Rest ein anders ausgelegtes Betriebsmittel mit geringerem Kapazitätsangebot einzusetzen. Für diesen Zweck ließe sich beispielsweise eine noch vorhandene, ältere Maschine mit geringerem Automatisierungsgrad verwenden oder eine leistungsschwächere, billigere Maschine beschaffen. Zwar steigen dann die Lohnstückkosten – aber eben nur anteilig und bei gesenkten Kapitalstückkosten. Das Kapazitätsangebot ist in diesen Fällen aus *heterogenen* Betriebsmitteln zusammengesetzt, was eine bessere Feinjustierung erlaubt.

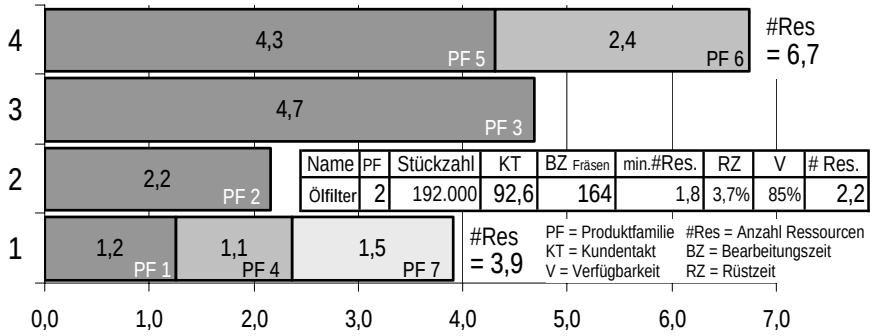


Abb. 3.13. Dimensionierung bei Liquipur

Fallbeispiel Die Dimensionierung bei Liquipur sei hier an Hand der Ermittlung der Anzahl der Bearbeitungszentren für das Fräsen dargestellt (Abb. 3.13). In Produktfamilie 2 der Ölfilter ist eine Jahresstückzahl von 192.000 mit einer Bearbeitungszeit von 164 Sekunden jeweils zu bearbeiten. Bei einem Ausschuss von 2 Prozent ergibt sich im normalen Dreischichtmodell ein Kundentakt von 92,6 Sekunden (vgl. Gl. 2.9). Um diesen Kundentakt zu erfüllen, werden mindestens 1,8 Maschinen, also aufgerundet 2 Maschinen benötigt. Bei Berücksichtigung einer technischen Verfügbarkeit von 85 Prozent und eines Rüstzeitanteils von 3,7 Prozent erhöht sich der Ressourcenbedarf allerdings auf 2,2 Maschinen. Im Ergebnis hätte man also einen Bedarf an drei teuren, hochautomatisierten Bearbeitungszentren mit einer Überkapazität von insgesamt 36 Prozent. Im Ist-Zustand werden nur zwei Maschinen benötigt, da aufgrund des Durcharbeitens der Pausen der Kundentakt auf 105,8 Sekunden steigt (Gl. 2.11) und damit der Ressourcenbedarf auf 1,9 gedrückt werden kann.

Umgekehrt zu den bisherigen Betrachtungen kann es auch sinnvoll sein, *Überkapazitäten* – auch über das Aufrunden hinaus – gezielt aufzubauen. Denn erst dadurch ist es möglich, bei relativ kurzen Lieferzeiten flexibel auf kurzfristige Nachfrageschwankungen hinsichtlich Gesamtmenge oder auch Variantenmix – vor allem bei stark unterschiedlichen Bearbeitungszeiten je Variante – zu reagieren. Diese Kapazitätsreserven können bei geringem Automatisierungsgrad kostengünstig sein. Sie sind daher insbesondere für die Montage geeignet, die zudem, da sie näher flussabwärts am Kunden sitzt, ohnehin flexibler sein sollte.

Die gezielte Planung von Überkapazitäten kann ebenfalls bei einem längeren zeitlichen Betrachtungshorizont der Dimensionierung eine Rolle spielen. Üblicherweise wird Wertstromdesign für den *Planungsfall* der kontinuierlichen Verbesserung einer bestehenden Produktion eingesetzt. Hier steht die sofortige Umsetzung von Einzelmaßnahmen im Vordergrund, wobei der konzipierte Soll-Zustand die Richtung für die einzelnen Schritte vorgibt. Für den Kundentakt kann dann in der Regel die gegenwärtige Verkaufsrate angenommen werden. Es spricht jedoch nichts dagegen, Wertstromdesign auch für mittelfristige Umplanungen oder komplette Neuplanungen einzusetzen. In beiden Fällen ist beim Kundentakt die Realisierung des mittelfristig angestrebten Stückzahlwachstums (oder auch Stückzahlrückgangs) zu berücksichtigen. Für die Kapazitätsdimensionierung bei Um- und Neuplanungen wird also der Kundentakt prognostisch hochgerechnet, so dass sich im Vergleich zum Ist-Zustand Überkapazitäten ergeben.

3.2.2 Einführung kontinuierlicher Fließfertigung

Mit Angabe der Art und jeweiligen Anzahl der benötigten Ressourcen sind die Produktionsprozesse grob dimensioniert. Dabei greift man im Regelfall auf bereits vorhandene Betriebsmittel oder auf noch als Ersatz oder zur Erweiterung zu beschaffende Betriebsmittel ähnlichen Typs, aber neuerer Bauart zurück. Im nächsten Schritt ist nun die Aufteilung der Wertschöpfung auf die gewählten Produktionsprozesse mit den jeweils zugeordneten und dimensionierten Betriebsmitteln zu überprüfen. An dieser Stelle sind die verwendeten Technologien sowie vor allem die maschinelle und organisatorische Abgrenzung der einzelnen Produktionsschritte voneinander ausgehend vom bisher lediglich neu strukturierten Ist-Zustand hin zu einem neu konfigurierten Soll-Zustand weiter zu entwickeln.

Eine *ideale Produktion* verbindet die Vorteile industrieller Arbeitsteilung mit handwerklicher Einzelfertigung. Sie realisiert einerseits die mit Strukturierung der Arbeitsaufgabe und Spezialisierung der Arbeitsmittel

und Arbeitskräfte gewonnenen Produktivitätsgewinne. Sie erreicht andererseits exakt den Kundenwunsch dadurch, dass jeweils das benötigte Produkt einzeln produziert werden kann. Dieses Ideal ist mit dem Flussprinzip tatsächlich erreichbar, sofern etwaige technologische Hindernisse beseitigt werden können.

Beim Flussprinzip sind die einzelnen Arbeitsplätze entsprechend der Folge der Arbeitsaufgaben räumlich angeordnet (DIN 33415). Mit Aufteilung der Arbeitsaufgaben auf einzelne Arbeitsplätze wird die Arbeitsteilung realisiert. Ergänzt man nun die Bedingung, dass sich an jedem mit einem Mitarbeiter besetzten Arbeitsplatz genau ein angearbeitetes Produkt zu befinden hat, dann erhält man die *kontinuierliche Fließfertigung*. Ist ein Prozessschritt abgeschlossen, wird das angearbeitete Produkt sofort zum nächsten Prozessschritt weitergereicht. Im Englischen spricht man daher sehr treffend von ‚One Piece Flow', das sich daher auch im Deutschen als Bezeichnung für die kontinuierliche Fließfertigung eingebürgert hat. Die ideale Produktion erzeugt das soeben bestellte Produkt beginnend beim Rohmaterial in einer durchgängigen Kette gut ausgelasteter Arbeitsschritte. Folgende Gestaltungsrichtlinie führt zur ideal gestalteten Produktion:

Gestaltungsrichtlinie 2: *One Piece Flow*

Produktionsprozesse sind soweit möglich in einer kontinuierlichen Fließfertigung zusammenzufassen.

Eine kontinuierliche Fließfertigung ist im Grunde ein einzelner Produktionsprozess, der lediglich in eine Abfolge Prozessschritten untergliedert ist. Der ideale Wertstrom lässt sich demnach abbilden als ein Prozess, in den Rohmaterial hineinfließt und in dem daraus ohne Unterbrechung der Bearbeitung unmittelbar das Endprodukt hergestellt wird. Diesen Zielzustand erreicht man durch *Integration* vormals getrennter Produktionsprozesse. Erste Gestaltungsaufgabe bei der Entwicklung des Soll-Zustands einer Produktion ist also die Zusammenfassung möglichst vieler Prozesse in einer kontinuierlichen Fließfertigung, deren Kapazität dem Kundentakt entspricht.

Neben den grundlegenden Eigenschaften und Vorteilen der Fließfertigung soll in den folgenden Abschnitten das *Vorgehen zur Konzeption* einer Fließfertigung skizziert werden. Wesentliche Bausteine des Konzeptes sind die Ansatzpunkte und Methoden der Taktabstimmung, die schließlich die Verteilung der Arbeitsinhalte auf die Mitarbeiter ermöglichen. Durch unterschiedliche Arbeitsverteilungen kann eine Fließfertigung zusätzlich kapazitätsflexibel ausgelegt werden.

Eigenschaften der Fließfertigung

Vergleicht man die kontinuierliche Fließfertigung mit der diskontinuierlichen Losfertigung, dann werden die Vorteile dieses Produktionsprinzips besonders deutlich (Abb. 3.14). Am auffälligsten ist die drastische Verkürzung der Durchlaufzeit. Ferner resultieren aus dem Wegfall der Zwischenlagerung deutliche Verbesserungen in der Wirtschaftlichkeit der Produktion. In der Variantenproduktion kann zudem sehr leicht ein dem Kundenbedarf exakt entsprechender Variantenmix produziert werden. Ein nicht unmittelbar augenfälliger positiver Effekt der Fließfertigung ist schließlich die systembedingte Verbesserung der Produktionsqualität. Diese vier Vorteile, die übrigens den vier Zieldimensionen entsprechen (Abschn. 1.2.2), seien im Folgenden näher erörtert.

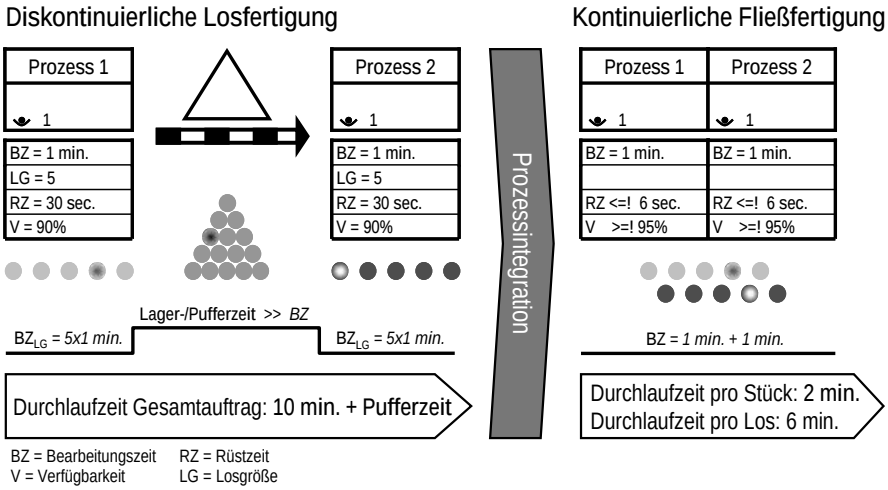


Abb. 3.14. Mit Prozessintegration von der Losfertigung zur Fließfertigung

Durchlaufzeit Die drastische *Verkürzung der Durchlaufzeit* beträgt im Falle der Losfertigung mindestens die Summe der Bearbeitungszeiten multipliziert mit der Losgröße. Aufgrund der Prozessunterbrechung kommt aber in der Regel noch eine deutlich längere Zwischenlagerungs- oder Pufferzeit hinzu. Im dargestellten einfachen Zahlenbeispiel erhält man bei zwei Prozessen mit einer Minute Bearbeitungszeit und der recht kleinen Losgröße von 5 Stück eine Durchlaufzeit von 10 Minuten (Abb. 3.14). Die Zwischenlagerung ist abhängig von der jeweiligen Planung und Steuerung, liegt aber typischerweise im Bereich von Stunden (zum Beispiel Pufferung in Arbeitsplatznähe) oder sogar Tagen (zum Beispiel Zwischenlagerung bis zur Auftragsfreigabe für die Weiterbearbeitung). Bei der Fließfertigung

entfällt dieser oft auch schwer kalkulierbare Zeitanteil vollständig. Die Mitarbeiter bearbeiten ein Stück und reichen es direkt weiter an den nächsten Arbeitsplatz – oder nehmen es, je nach Arbeitsorganisation, selbst zum nächsten Arbeitsplatz mit. Im Beispiel reduziert sich so die Durchlaufzeit auf die Summe der Bearbeitungszeiten für ein Stück, also auf zwei Minuten.

Wirtschaftlichkeit Durch den Entfall der Zwischenlagerung wird das gebundene Kapital gesenkt und vor allem werden alle Tätigkeiten eliminiert, die mit Ein- und Auslagerung, Transporten zum und vom Lagerplatz sowie der Lagerverwaltung zu tun haben. Dadurch sind deutliche *Produktivitätsgewinne* zu erreichen. Ferner entfällt der jeweilige Lagerflächenbedarf. Die Prozessintegration zwingt außerdem zur flächensparenden Anordnung der Arbeitsplätze, damit das unmittelbare Weiterreichen der Produkte überhaupt möglich ist. Insbesondere in Montagen kann so eine deutliche Steigerung der *Flächenproduktivität* gegenüber konventioneller Montage in kleinen Losen erreicht werden. Die Flächenverdichtung eliminiert zudem Laufwege und trägt so zur Produktivitätssteigerung bei. Vorausgesetzt werden muss hier allerdings, dass die Betriebsmittel nah zueinander angeordnet werden können. Bauliche oder technische Restriktionen könnten dagegen sprechen.

Variantenmix Da die Fließfertigung eine Einzelstückfertigung ist, kann jeder beliebige, also auch der dem Kundenbedarf exakt entsprechende Variantenmix produziert werden. Eine kundenspezifische Produktion ist in gleichem Maße einfach möglich. Die Realisierung einer solchen *maximalen Variabilität* setzt allerdings zweierlei voraus – die Minimierung der Rüstzeiten sowie variantenunabhängige Bearbeitungszeiten.

Eine Einzelstückfertigung mit beliebiger Variantenfolge ist nur möglich, wenn es keine Rüstzeiten oder andere technische Restriktionen für die Reihenfolge gibt. Die 30 Sekunden Rüstzeit im Zahlenbeispiel entsprechen 10 Prozent der Bearbeitungszeit eines Loses (Abb. 3.14). Bliebe diese Rüstzeit unverändert, so würde sie 50 Prozent der Bearbeitungszeit ausmachen, was bei einer variantenreichen Serienproduktion unsinnig wäre. Eine Bedingung für die Einführung der Fließfertigung ist daher eine nahezu gänzliche Vermeidung von Rüstzeiten. Minimale Rüstzeiten bleiben, abgesehen davon dass es sich um Verschwendung handelt, möglich. Bei einer Reduktion der Rüstzeit im Zahlenbeispiel auf sechs Sekunden würde man sich nicht verschlechtern; die Rüstzeit sollte also unter diesen sechs Sekunden liegen. Lässt sich die Rüstzeit nicht ausreichend reduzieren, ist alternativ die Realisierung einer Fließfertigung mit *überlappenden Losen* möglich. Dann verliert man zwar die Freiheit in der Reihenfolgebildung, sichert sich aber die anderen Vorteile des Fließprinzips.

Eine beliebige Variantenfolge ist zudem nur dann einfach möglich, wenn die Bearbeitungszeiten je Prozessschritt wie im Zahlenbeispiel unabhängig von der Variante sind. Bei einer variantenabhängigen *Spreizung* der Bearbeitungszeit kann es – je nach den Umsetzungsdetails – zu Stauungen oder Wartezeiten an den einzelnen Bearbeitungsstationen kommen, wenn nämlich schnelle Varianten die langsamen einholen und umgekehrt. Dies kann man in gewissen Grenzen durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen oder geringfügige Entkopplung der Prozessschritte (Abschn. 3.3.1) vermeiden. Im Ergebnis pulsiert die Ausbringung der Fließfertigung entsprechend stark. Die direkte Aufeinanderfolge von Varianten mit großem und deutlich kleinerem Arbeitsinhalt ist relativ schwer zu koordinieren. Als Erfahrungswert für die maximale Spreizung der Bearbeitungszeit in einer Fließmontage kann man 30 Prozent angegeben. Produkte, die außerhalb dieses Korridors liegen, müsste man dann einer anderen Produktfamilie zuordnen. Es ist aber auch denkbar, neben einer variantengesteuerten Mitarbeiteranzahl im Prozess unterschiedlich stark ausgeprägte *Reihenfolgerestriktionen* für die Abfolge der Varianten zu definieren und im Produktionsbetrieb dann entsprechend einzuhalten.

Noch größere Schwierigkeiten treten auf, wenn die Bearbeitungszeiten der einzelnen Prozessschritte variantenabhängig unterschiedlich stark schwanken. Eine Taktabstimmung macht dann eine variantenabhängige Zuordnung der Mitarbeiter zu den Arbeitsstationen erforderlich, was dann auch entsprechend zu steuern ist. Ist nur eine Arbeitsstation betroffen, wird man sie wohl nicht in die Fließfertigung integrieren, sondern anders mit der verbleibenden Fließfertigung verknüpfen (Abschn. 3.3).

Fehlerentdeckung Das Flussprinzip beeinflusst auch die Produktionsqualität. Entsteht in einem Prozess ein Fehler, der erst im Folgeprozess entdeckt werden kann, so dauert es bis zur Entdeckung in der Losfertigung sehr lange. Im Beispiel sind die fehlerhaften Teile mit der abweichenden Einfärbung der kreisförmigen Produktsymbole markiert (Abb. 3.14). Das fehlerhafte zweite Stück des ersten Prozesses wird zunächst einmal zwischengelagert und dann erst im zweiten Prozess an fünfter Stelle als Ausschuss erkannt. Bis dahin ist die Ursache der Fehlerentstehung nicht mehr richtig nachvollziehbar. Anders in der Fließfertigung. Das Schlechtteil kommt sofort in den Folgeprozess und kann damit auch unmittelbar eine Ursachenermittlung auslösen. So ist ein deutlich verbessertes Qualitätsmanagement möglich. Bei systematischen Fehlern erreicht man eine Reduktion der Fehlerkosten durch die ablaufbedingte *Fehlerfrüherkennung*, da nicht erst ein ganzes Los als Ausschuss produziert wird, bevor dies im Folgeprozess (oder in einem zwischengeschalteten Qualitätsprüfprozess) erkannt wird.

Verfügbarkeit Ähnlich wie Schlechtteile sofort erkannt werden, haben auch *Störungen* einzelner Betriebsmittel einen sofortigen Einfluss auf den Produktionsablauf – er kommt nämlich komplett zum Erliegen. Daraus ergeben sich zusätzliche Anforderungen an die Gestaltung einer Fließfertigung. Umgekehrt ist es nämlich bei der Losfertigung: Fällt bei den separierten Prozessen eine Maschine aus, dann können alle anderen Prozesse an ihren Losen weiterarbeiten. Die dem gestörten Prozess nachfolgenden Prozesse können sich aus dem Zwischenlager bedienen – und die vorausgehenden Prozesse füllen das Lager vor dem gestörten Prozess. Solange die Betriebsmittel nicht verkoppelt sind, hat man eine deutlich höhere Verfügbarkeit der Produktion insgesamt und damit eine entsprechend höhere Ausbringung.

Wenn also im Zahlenbeispiel in beiden Prozessen Betriebsmittel mit einer Verfügbarkeit von je 90 Prozent benutzt werden, dann erreicht man in der Losfertigung auch eine Gesamtausbringung von 90 Prozent bezogen auf die theoretische Maximalmenge (Abb. 3.14). Vorausgesetzt sei dabei eine gut dimensionierte Pufferauslegung, die die längste Störungsdauer zu überbrücken erlaubt. In der Fließfertigung jedoch multiplizieren sich die Verfügbarkeiten zu einer Gesamtverfügbarkeit von im Zahlenbeispiel nur noch 81 Prozent – und je länger die Prozesskette, desto drastischer die Reduktion. Um im Beispiel die gleiche Ausbringung zu erreichen, müssten die Verfügbarkeiten auf jeweils 95 Prozent gesteigert werden. Damit eine Fließfertigung gut funktioniert, ist also eine hervorragende Verfügbarkeit der Einzelkomponenten unabdingbar. Aus diesem Grunde finden sich Fließfertigungen auch vornehmlich in der Montage und weniger in der mechanischen Fertigung.

Risikobereitschaft in der schlanken Produktion

Qualitätsprobleme und Störungen werden in einer Fließfertigung schnell erkennbar – und nötigen auch zu entsprechend rascher Reaktion. Das Produzieren erscheint dadurch riskanter, dass Störungen nicht durch Bestände aufgefangen werden können. Umgekehrt gibt es aber auch keine Bestände, die größere Mengen zunächst unerkannter Schlechtteile enthalten, die dann wiederum bei Bedarf doch nicht der Weiterbearbeitung zur Verfügung stehen. Wie auch immer, entscheidend ist, dass die Fließfertigung beide Problembereiche sichtbar macht und so erst den Druck erzeugt, Prozessverbesserungen einzuführen. Im anderen Fall lassen sich diese Verschwendungen allzu leicht in den Beständen verbergen.

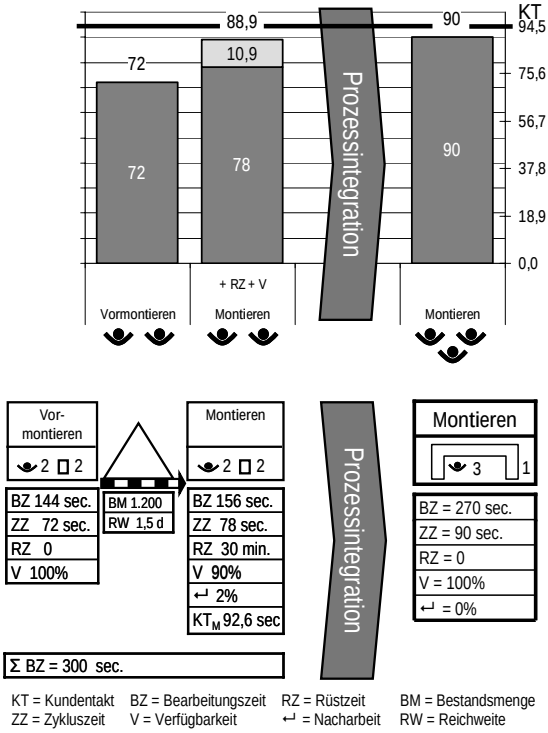


Abb. 3.15. Fließmontage bei Liquipur

Fallbeispiel Bei Liquipur werden in der Sollkonzeption die beiden Prozesse ‚Vormontieren' und ‚Montieren' zu einer Fließmontage integriert, die als U-Linie ausgestaltet werden soll. Als Fließfertigung gestaltete Produktionsprozesse können mit einer stilisierten U-Linie im Symbol hervorgehoben werden (Abb. 3.15, rechts). Die neugestaltete Montagelinie soll gegenüber dem Ist-Zustand einige technische Verbesserungen aufweisen: Elimination der Rüstzeit, Erhöhung der Verfügbarkeit auf 100 Prozent sowie Elimination der Nacharbeit. Bei Umsetzung der letztgenannten Anforderung gilt für die Montagelinie ein Kundentakt von 94,5 Sekunden und nicht der reduzierte, prozessspezifische Kundentakt von 92,6 Sekunden (vgl. Gl. 2.9). Die Zykluszeit sollte geringfügig unter dem Kundentakt liegen – bewährt haben sich hier 5 Prozent. Damit sind auch Verteilzeiten berücksichtigt. Für die Montagelinie ergibt sich somit eine anzustrebende Zykluszeit von 90 Sekunden. Mit drei Mitarbeitern könnte dann in einem Takt eine Bearbeitungszeit von 270 Sekunden zur Verfügung gestellt werden. An den alten Montagearbeitsplätzen beträgt die summierte Bearbeitungszeit 300 Sekunden. Gelingt es, diese Zeit um 10 Prozent zu senken, dann kann der Mitarbeiterbedarf in Summe von vier auf drei Mitarbeiter gesenkt werden. Der *Produktivitätsgewinn* beträt dann insgesamt 25 Prozent.

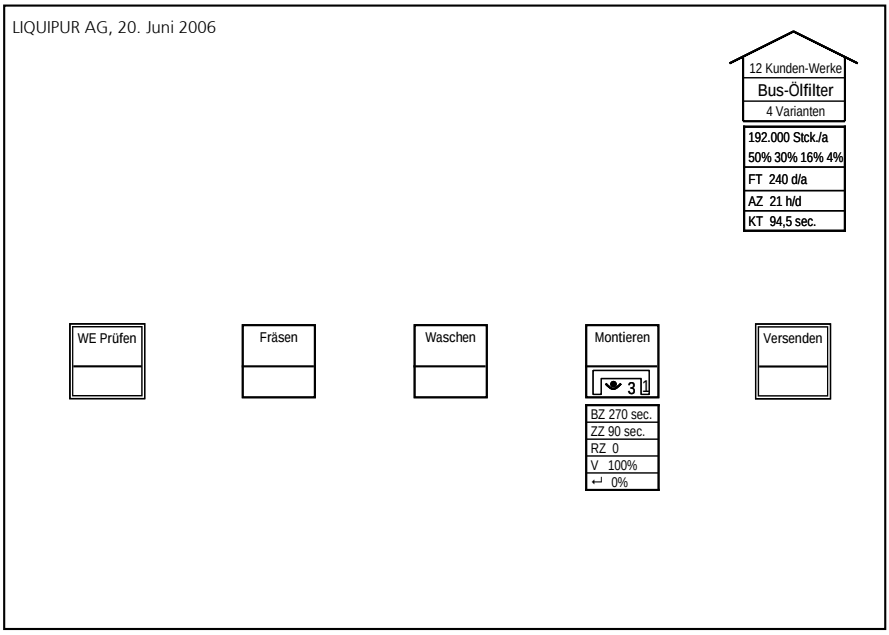


Abb. 3.16. Wertstromdesign bei Liquipur (1): Produktionsprozesse und Kundenbedarf

Zusätzlich entfällt durch die Prozessintegration der Bestand von 1.200 Stück zwischen den zuvor getrennten Montageprozessen. Damit reduziert sich die *Produktionsdurchlaufzeit* um 1,5 Tage. Im Soll-Konzept besteht damit der Wertstrom der Bus-Ölfilter aus den fünf Prozessen Versenden, Montieren, Waschen, Fräsen und Entladen (Abb. 3.16). Die Parameter wie Anzahl der Mitarbeiter, Bearbeitungszeit, Rüstzeit usw. sind für die Fließmontage bereits festgelegt. Bei den anderen Produktionsprozessen sind die Anforderungen an die Prozessparameter in Abhängigkeit von der Art ihrer jeweiligen logistischen Verknüpfung festzulegen. Dies ist in den folgenden Abschnitten noch zu erörtern.

Taktabstimmung in der Fließfertigung

Die Prozessintegration in der Fließfertigung macht eine Taktabstimmung zwischen den integrierten Prozessschritten erforderlich. Während isolierte Produktionsprozesse mit Überstunden oder durch das Streichen oder Hinzunehmen einzelner Schichten in ihrer Kapazität recht leicht auf den Kundenbedarf abgestimmt werden können, müssen bei der Fließfertigung alle Prozesse im gleichen Takt arbeiten, wenn nicht teure Wartezeiten der Mitarbeiter in Kauf genommen werden sollen. Zunächst sind die einzelnen Arbeitselemente detailliert aufzunehmen. Dabei kann gleich geprüft wer-

den, ob durch Veränderungen der ergonomischen Gestaltung, der Teilebereitstellung, der Vorrichtungsgestaltung und anderes die Prozessabläufe verbessert werden können. Für die um ihre *Verschwendungsanteile* reduzierten Arbeitselemente ist dann die Taktabstimmung vorzunehmen.

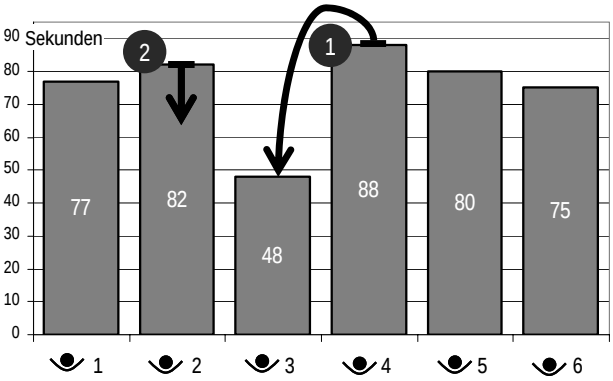


Abb. 3.17. Ansatzpunkte zur Taktabstimmung

Ansatzpunkte Die Zuordnung des Arbeitsinhalts zu den einzelnen Mitarbeitern lässt sich mit dem Taktabstimmungsdiagramm übersichtlich darstellen. Dabei ist es durchaus möglich, dass ein Mitarbeiter für mehrere nebeneinanderliegende Arbeitsstationen zuständig ist. Um zu einer Taktabstimmung zwischen den einzelnen Mitarbeitern zu gelangen, gibt es grundsätzlich zwei Ansatzpunkte – die *Verschiebung* von Arbeitselementen und die *Reduktion* von Arbeitsinhalten (Abb. 3.17). Mit der Verschiebung von einzelnen Arbeitselementen an einen anderen Arbeitsplatz oder, was einfacher ist, einer anderen Zuordnung von Arbeitsstationen zu Mitarbeitern kann der Arbeitsinhalt ausgewogener verteilt werden. So kann man im Zahlenbeispiel einen Arbeitsgang mit fünfzehn Sekunden Arbeitsinhalt von Mitarbeiter 4 auf Mitarbeiter 3 verschieben, so dass deren Aufwand nun 73 beziehungsweise 67 Sekunden beträgt.

Eine zweite Möglichkeit ist es, den Arbeitsinhalt bei den Mitarbeitern mit der höchsten Arbeitsbelastung gezielt zu reduzieren. Durch Handhabungshilfen oder Automatisierung können einzelne Arbeitselemente beschleunigt oder überflüssig werden. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass die *Amortisation* der zusätzlichen Betriebsmittel anders zu kalkulieren ist. Gelingt es, den Arbeitsinhalt von Mitarbeiter 2 um vier Sekunden zu reduzieren, dann betrifft dieser Effekt alle sechs Mitarbeiter, reduziert also den lohnkostenrelevanten Zeitaufwand pro Produkt um 24 Sekunden. Würde die gleiche Maßnahme Mitarbeiter 1 betreffen, dann wäre keine Lohnkosteneinsparung zu erreichen, es sei denn man kombiniert die Reduktion mit einer zusätzlichen Verschiebung von Arbeitselementen.

Methoden Die Taktabstimmung ist definiert in DIN 33415 als die Aufteilung von Arbeitsaufgaben zur gleichmäßigen Auslastung aller Arbeitsplätze im Arbeitssystem. Diese Definition verleitet dazu, den Arbeitsinhalt *gleichmäßig* zu verteilen (Abb. 3.18, links). Diese Form der Taktabstimmung aber führt zu Verschwendung entweder im Fließprozess selbst oder aber im übergeordneten Produktionsablauf. Wenn nun die Mitarbeiter entsprechend des Kundenbedarfs produzieren, dann besteht die Gefahr, dass sie die jeweils freien Zeitanteile nicht produktiv nutzen. So entsteht Verschwendung durch entsprechende Wartezeiten oder indem sich die Mitarbeiter Zusatzaufgaben ‚suchen', die in aller Regel überwiegend zu Scheinleistung führen. Die Alternative, die Ausbringung bis zur maximalen Mitarbeiterauslastung zu erhöhen, bringt zwar eine lokale Optimierung der Mitarbeiterproduktivität, führt aber zur Überproduktion bezüglich des Kundenbedarfs. Die Taktabstimmung mit gleichmäßiger Verteilung der Arbeitsinhalte begünstigt eine Erhöhung der Ausbringung, um Produktivitätsverluste zu vermeiden. Der *Auslastungsdruck* bei ausgeglichener Arbeitsverteilung führt nur zu einer scheinbaren Verbesserung der Produktion.

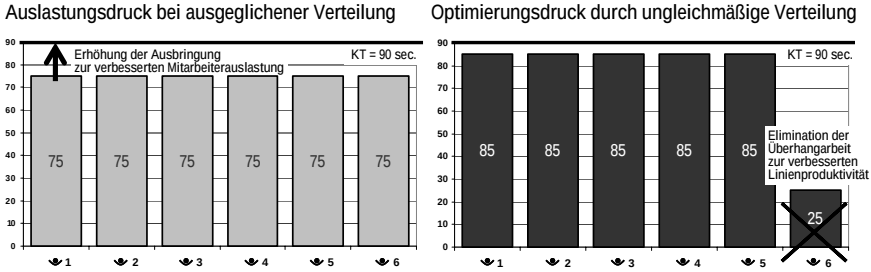


Abb. 3.18. Methoden der Taktabstimmung in einer Fließfertigung

Der am Wertstrom orientierte Lösungsansatz richtet sich dagegen strikt am Kundentakt aus und führt dadurch zu einer *ungleichmäßigen* Verteilung der Arbeitsinhalte (Abb. 3.18, rechts). Im Ergebnis arbeiten alle Mitarbeiter bis auf einen mit am Kundentakt orientierter Belastung, während sich die Überkapazität der Fließfertigung auf einen Mitarbeiter konzentriert. So wird der Verschwendungsanteil im System besonders deutlich. So entsteht ein *Optimierungsdruck* dahingehend, die Überhangarbeit zu eliminieren und durch Einsparen des dadurch überzähligen Mitarbeiters weitere Produktivitätsgewinne zu erreichen. Im Ergebnis erreicht man schließlich eine optimale Taktabstimmung direkt am Kundentakt. Dazu können die zuvor vorgestellten Instrumente der gezielten Reduktion und Verschiebung von Arbeitsinhalten iterativ immer wieder durchgeführt werden. Mit

der ungleichmäßigen Verteilung werden Anreize zur kontinuierlichen Verbesserung im Arbeitssystem integriert.

Häufig ist es empfehlenswert, etwas Luft zum Kundentakt als *Verteilzeit* zu belassen. Man füllt lediglich 90 bis 95 Prozent des Kundentaktes mit Arbeitsinhalten. Im Zahlenbeispiel wurden mit 85 Sekunden als geplanter Zykluszeit 94,4 Prozent des Kundentaktes von 90 Sekunden gewählt.

Taktabstimmung

Der Arbeitsinhalt in einer Fließfertigung ist nach Bereinigung um offensichtliche Verschwendungsanteile so aufzuteilen, dass je Mitarbeiter etwa 95 Prozent des Kundentaktes erreicht werden. Dadurch ist jeder Mitarbeiter unter Berücksichtigung von Verteilzeiten entsprechend des Kundenbedarfs ausgelastet. Verbleibt dabei ein restlicher Arbeitsinhalt, der unter dem Kundentakt liegt, dann ist dieser durch Reduktion und Verschiebung von Arbeitselementen schrittweise zu eliminieren, bis schließlich eine optimale Taktabstimmung der Fließfertigung direkt am Kundentakt erreicht ist.

Arbeitsverteilung in der Fließfertigung

Nach erfolgter Taktabstimmung ist nun jedem Mitarbeiter sein Arbeitsplatz mit dem entsprechend abgetakteten Arbeitsinhalt zuzuordnen. Dies stellt gewissermaßen die Basislösung bei der Arbeitsverteilung auf die Mitarbeiter dar. Sie lässt sich gut als *Produktionslinie* realisieren (Abb. 3.19, Fall 1). Jeder Mitarbeiter verrichtet alle ihm zugewiesenen Arbeitselemente an ein und derselben Arbeitsstation und gibt die Werkstücke dann weiter zur nächsten Station.

Falls viele Arbeitsschritte mit unterschiedlichen Vorrichtungen oder Maschinen und geringem Arbeitsinhalt vorliegen, dann gibt es mehr Arbeitsplätze, als Mitarbeiter zum Erreichen des Kundentaktes benötigt werden. Jetzt gilt es, jedem Mitarbeiter mehrere Arbeitsplätze so zuzuordnen, dass alle etwa gleich ausgelastet sind (Abb. 3.19, Fall 2). Die Zuordnung mehrerer Stationen zu einem Mitarbeiter hat den großen Vorteil, dass eine gehende Tätigkeit ergonomisch günstiger ist als eine sitzende oder stehende Tätigkeit am festen Arbeitsplatz. Da die Mitarbeiter die Werkstücke jeweils an ihre Kollegen weiterreichen, spricht man hier auch vom *Staffellaufsystem*. Wegen der höheren Anzahl an Arbeitsstationen ist die Erreichung einer gleichmäßigen Taktabstimmung leichter möglich als im ersten Fall. Bei der Verschiebung von Arbeitsinhalten muss kein Arbeitsplatz umgebaut werden, sondern es ändert sich lediglich die Mitarbeiterzuordnung.

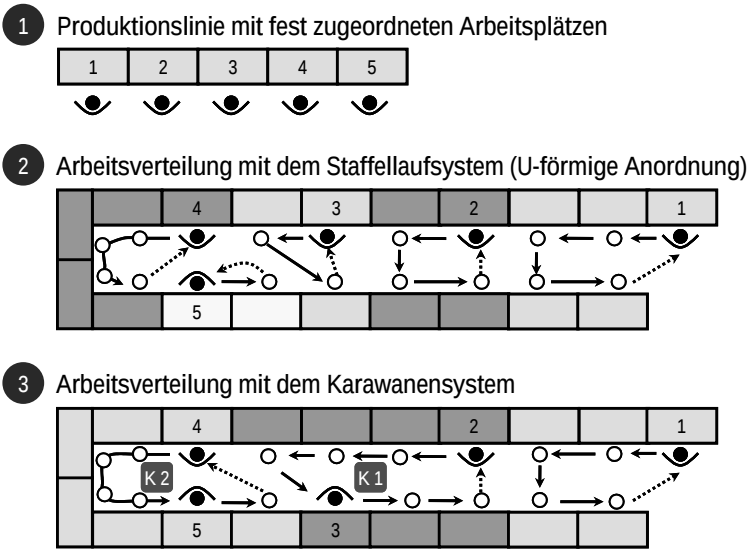


Abb. 3.19. Aufteilung der Arbeit auf die Mitarbeiter in einer Fließfertigung

Für die Möglichkeiten der Taktabstimmung spielt auch die räumliche Anordnung der Arbeitsplätze eine Rolle. Bei der Linie lassen sich nur benachbarte Arbeitsplätze zusammenfassen; bei einer schmalen *U-förmigen Anordnung* können auch jeweils gegenüberliegende Arbeitsplätze kombiniert werden. Bei einer U-Anordnung sollten die erste und die letzte Arbeitsstation immer vom gleichen Mitarbeiter bedient werden, da so der Arbeitstakt leichter einzuhalten ist. An den zahlreichen Übergabepunkten der Staffel haben die Mitarbeiter die Möglichkeit fallweise die jeweiligen Arbeitsinhalte anders zuzuordnen. So könnte beispielsweise ein schneller, erfahrener Mitarbeiter in jedem zweiten Takt den Arbeitsinhalt der ersten Station des nachfolgenden, einzuarbeitenden Mitarbeiters übernehmen. Auch ähnlich qualifizierte Mitarbeiter können so ihren Arbeitsrhythmus wechselseitig variieren.

Eine Vereinheitlichung des Arbeitsrhythmus erreicht man mit dem *Karawanensystem* (Abb. 3.19, Fall 3). Ein Mitarbeiter führt alle Arbeitsschritte hintereinander aus und geht dabei in Materialflussrichtung zu den einzelnen Arbeitsstationen. Ein zweiter Mitarbeiter folgt im Abstand von ein paar Arbeitsschritten. Bei dieser Form der Arbeitsorganisation erhält man den stärksten Standardisierungseffekt im Arbeitsablauf. Beide Mitarbeiter müssen allerdings vollständig synchron arbeiten. Ein deutlicher Vorteil ist, dass sich die Taktabstimmung nun auf zwei Mitarbeiter bezieht und damit leichter optimiert werden kann. In einer Fließfertigung mit zwei Mitarbei-

tern gibt es überhaupt keine Abtaktverluste mehr. In größeren Arbeitssystemen halbieren sich prozentual gesehen gleich hohe Taktabweichungen. An keiner Arbeitsstation darf ein überproportional großer Arbeitsanteil zu verrichten sein, da es sonst zum Mitarbeiter-Stau kommt. Diese Form der *Kreisgänge* erfordert erfahrene Mitarbeiter, deren Qualifikation und Arbeitsgeschwindigkeit auf dem gleichen Niveau liegen. Es hat sich gezeigt, dass dieses System im Regelfall nur für zwei Mitarbeiter geeignet ist. Bei drei Mitarbeitern kann es bereits schwierig werden, gegenseitige Behinderungen zu vermeiden und den Arbeitsrhythmus zu erhalten.

Arbeitsverteilung

Die Aufteilung des Arbeitsinhaltes auf mehrere Arbeitsstationen pro Arbeitsplatz sowie deren U-förmige Anordnung erleichtert beim Staffellaufsystem die gleichmäßige Verteilung des Arbeitsinhaltes auf die Mitarbeiter. Werden im Karawanensystem Arbeitsstationen für jeweils zwei Mitarbeiter zusammengefasst, dann erleichtert dies zusätzlich die Taktabstimmung.

Kapazitätsflexibilität in der Fließfertigung

Gängige Methoden, die Ausbringung einer Produktionslinie zu verändern, sind Überstunden vor oder nach der Schicht, in einem geschickten Zweischichtsystem auch zwischen den Schichten, sowie Zusatzschichten in der Nacht oder am Wochenende, je nach dem normalerweise bestehenden Schichtmodell. Die Kapazität einer Fließfertigung kann nun noch zusätzlich variiert werden, indem man ihr eine unterschiedliche Anzahl an Mitarbeitern zuordnet. Die Fließfertigung wechselt dadurch ihren *Modus*. Durch den Wechsel des Modus einer Fließfertigung wird in kontrollierter und definierter Weise die Ausbringung geändert. Dieses Vorgehen ist insbesondere für mittelfristige Kapazitätsanpassungen geeignet und kann daher ideal dem Ausgleich saisonaler Kundenbedarfsschwankungen dienen.

Ein anderer Modus einer Fließfertigung macht auch eine andere Verteilung der Arbeitselemente erforderlich, so dass für eine *kapazitätsflexible* Fließfertigung mehrere Taktabstimmungen erarbeitet werden müssen. Im dargestellten Zahlenbeispiel beträgt der Ausstoß mit fünf Mitarbeitern im Staffellaufsystem 40 Stück pro Stunde (Abb. 3.20, Fall 1). Nach Reduktion auf drei Mitarbeiter sind die Arbeitsstationen neu zuzuordnen; der Ausstoß sinkt auf 24 Stück pro Stunde und die Zykluszeit beträgt nun 124 Sekunden (Abb. 3.20, Fall 2). Bei weiterer Reduktion auf zwei Mitarbeiter kann das Karawanensystem eingesetzt werden, so dass eine Taktabstimmung nicht mehr erforderlich ist. Der Ausstoß sinkt rechnerisch auf 16 Stück

(Abb. 3.20, Fall 3). Da etwaige Abtaktungsverluste entfallen, dürfte dieser Wert in der Praxis leicht höher liegen. Hingegen dürfte mindestens einer der beiden anderen Werte schlechter sein, da es unwahrscheinlich ist, dass man zwei verschiedene, gleich gute Taktabstimmungen in einem Arbeitssystem realisieren kann.

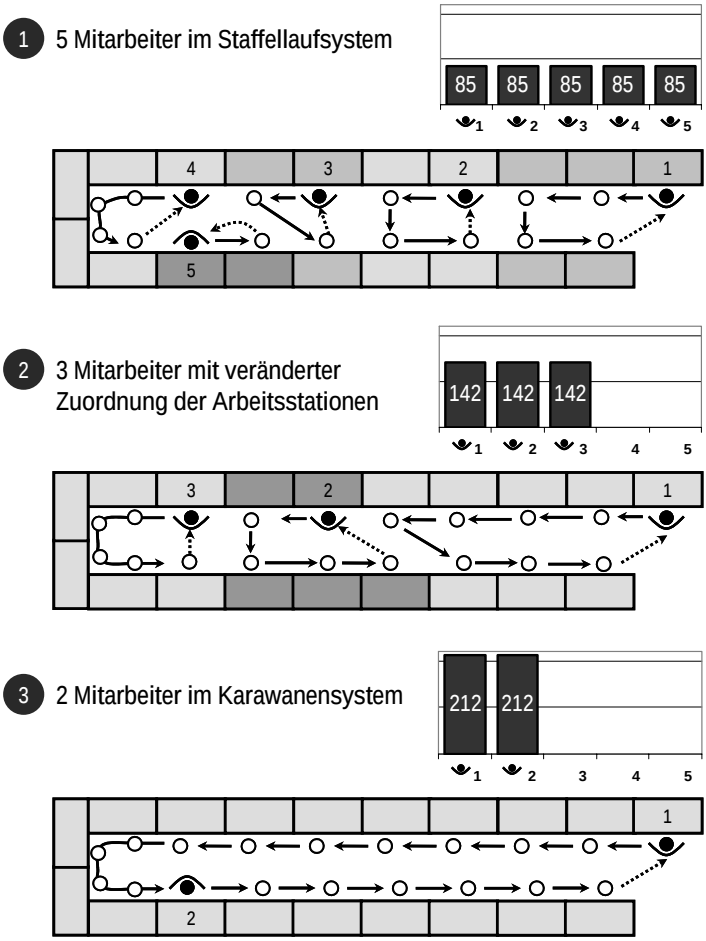


Abb. 3.20. Modus der Ausbringung in der Fließfertigung

Kapazitätsflexibilität

Fließfertigungen können in unterschiedliche Modi eingestellt werden. In jedem Modus kann mit einer anderen Mitarbeiteranzahl bei entsprechend angepasster Arbeitsverteilung eine andere Ausbringmenge erreicht werden.

Hindernisse und Einschränkungen

Der durchgängigen Einführung von Fließfertigungen widersprechen *technologische Hindernisse*, die auszuräumen zwar fast immer prinzipiell möglich, dann aber wirtschaftlich nicht sinnvoll sind. Vorausgesetzt, dass es für alle im Segment enthaltenen Produkte gelungen ist, die gleiche Arbeitsgangabfolge zu bilden, sind folgende Einschränkungen in der Realisierung zu bedenken:

- Manche Ressourcen lassen sich *räumlich* nicht in geeigneter Weise anordnen. Das kann an hohen Umstellungsaufwänden oder baulichen Restriktionen liegen; eine Neuplanung wäre hier deutlich im Vorteil gegenüber einem bestehenden Standort. Oder es liegt an der Größendimension der Ressourcen selber, beispielsweise wenn mehrere Produktfamilien in einer zentralen Ressource zusammenfließen und sich danach wieder trennen. Außerdem können manche Prozesse einander ausschließende Bedingungen an die bauliche Umgebung stellen (stauberzeugender Prozess versus Reinraumanforderung; Wärmeprozess versus Abkühlprozess, Brandschutz), so dass räumliche Nähe zu deutlich erhöhten Aufwendungen führt.
- Einige Ressourcen weisen nennenswerte, nicht weiter reduzierbare *Rüstzeiten* auf. In diesem Fall ist eine Fließfertigung möglich, aber nur wenn man sie als überlappende Losfertigung betreibt. Weisen die integrierten Produktionsschritte stark verschiedene Rüstzeiten auf, dann bestimmt die längste Rüstzeit die Produktionsunterbrechung an allen integrierten Betriebsmitteln. Das kann dann die Installation höherer Kapazitäten erforderlich machen, als es bei einer Losfertigung nötig wäre.
- Die Ressourcen weisen eine zu geringe *Zuverlässigkeit* auf. Dieses Hindernis ist meist von der altersbedingten Güte der Ressourcen abhängig, mithin ein reiner Investitionskostenfaktor. Das Risiko, hier vom Wettbewerb abgehängt zu werden, ist dementsprechend groß. Anders liegt der Fall, wenn einzelne Produktionsprozesse einen hohen stochastischen *Ausschuss* haben, den zu reduzieren technologisch (derzeit) unmöglich ist.
- Die *Bearbeitungszeiten der Ressourcen* unterscheiden sich erheblich voneinander, so dass eine Taktabstimmung nicht möglich ist. So lässt sich der Stanzprozess eines einfachen Blechteiles schlecht mit der Bearbeitung eines Gussteiles sowie deren beider anschließenden Montage auf den gleichen Takt bringen. Hier wäre zwar eine Investition in entsprechend passend konstruierte Maschinen möglich, nur würden die in der Fließfertigung erreichbaren Vorteile diese Kosten niemals aufwiegen können. Stattdessen wird man die deutlich schnellere Ressource zur

Versorgung mehrerer paralleler Fließfertigungen für unterschiedliche Produktfamilien einsetzen.

- Die *Bearbeitungszeiten* sind stark *variantenabhängig* – und zwar an jedem Produktionsschritt in unterschiedlichem Ausmaß. Hier könnte man sich am langsamten Prozess mit der zeitaufwendigsten Variante orientieren. Das führt jedoch zu einer geringen durchschnittlichen Auslastung der Ressourcen. In diesem Fall kann es daher aus wirtschaftlichen Gründen angezeigt sein, Prozesse zu entkoppeln.
- Eine Fließfertigung bedingt häufig die Anschaffung ausgeprägt produktspezifischer Betriebsmittel. Bei einem kurzen *Produktlebenszyklus* mit Nachfolgeprodukten, die deutlich geänderte technologische und kapazitative Anforderungen an die Produktion stellen, stellt sich die Frage der Weiternutzung dieser Betriebsmittel. Da sie nicht unspezifisch gestaltet sind, müssen sie eine hohe Wandlungsfähigkeit aufweisen. Letzteres ist wiederum aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nur in eingeschränktem Maße möglich. Da das Problem unzureichender Wandlungsfähigkeit aber nicht nur bei Fließfertigungen auftritt, sondern auch solitäre Anlagen in gewissem Grade produktspezifisch gestaltet werden müssen, ist hier im Einzelfall abzuwägen.

Die meisten der genannten Hindernisse sind in den *gewachsenen Strukturen* einer Fabrik sowie der *gewohnten Auslegung* von Betriebsmitteln einschließlich der Vorrichtungen bedingt. Bei einem Neubau könnte man vieles gleich als Fließfertigung gestalten, ohne nennenswert höhere Investitionskosten. Es gibt also keine prinzipiellen Gründe, die gegen die durchgängige Einführung der Fließfertigung sprechen. Die meisten Gegengründe sind situationsabhängig und daher im jeweiligen Einzelfall abzuwägen. Erst wenn dies geschehen ist, sollte man sich anderen Möglichkeiten, die Produktion zu gestalten, widmen.

Mit Abschluss dieser Konzeptionsphase sind ein Teil der Produktionsprozesse eines Wertstroms zu einer oder mehreren Fließfertigungen integriert. Diese Fließprozesse sowie die verbliebenen Produktionsprozesse sind im Anschluss zu verknüpfen. Durch diese logistischen Verknüpfungen entsteht schließlich der Wertstrom. Die innerbetriebliche Logistik bestehend aus Materialfluss und der jeweiligen Steuerung soll im Folgenden gestaltet werden (Abschn. 3.3). Danach ist dann zu überlegen, wie eine zur idealen Produktionssteuerung passende Produktionsplanung auszusehen hätte (Abschn. 3.4).

Vorgehen zur Konzeption einer Fließfertigung

Das *Ideal* des Produzierens ist realisiert mit einer kontinuierlichen Fließfertigung. Diese führt zu einer minimalen Produktionsdurchlaufzeit, ermöglicht und erfordert maximale Produktionsqualität, reduziert Verschwendungen im Produktionsablauf und ermöglicht einen am Kundenbedarf ausgerichteten Variantenmix.

Das *Vorgehen* besteht aus fünf zentralen Schritten:

1. Festlegung der Produktfamilie und Ermittlung des zugehörigen Kundentaktes.
2. Ermittlung der erforderlichen Arbeitselemente sowie deren um Verschwendungsanteile bereinigten Arbeitsinhalt.
3. Gestaltung der erforderlichen Betriebsmittel im geeigneten Automatisierungsgrad.
4. Anordnung der Arbeitsstationen im Layout als Linie oder als U-Zelle.
5. Verteilung der Arbeit auf die Mitarbeiter (Taktabstimmung) und Entwicklung unterschiedlicher Kapazitätsmodelle.

3.3 Produktionssteuerung

Im Anschluss an die technologische Ausgestaltung der Produktionsprozesse eines Wertstroms durch eine möglichst weitgehende Einführung von Fließfertigung (Abschn. 3.2) erfolgt die Konzeption der Produktionssteuerung. Die im Folgenden vorgestellten *Steuerungsprinzipien* sollen ermöglichen, den Materialfluss vom Wareneingang bis zum Versand als gleichmäßig und ruhig verlaufender Fluss zu gestalten. Voraussetzung dazu sind zuverlässige Produktionsprozesse. Die effiziente Gestaltung eines Wertstroms erscheint dann am besten realisierbar, wenn der Wertstrom möglichst gleichmäßig und damit vorhersehbar verläuft.

Für die Produktionssteuerung sind dazu drei Gestaltungsrichtlinien anzuwenden, die eine feste Abarbeitungsreihenfolge (Abschn. 3.3.1), niedrige Bestände für kurze Durchlaufzeiten (Abschn. 3.3.2) sowie die an genau einem Produktionsprozess eingesteuerte Auftragsfreigabe (Abschn. 3.3.3) betreffen. Das Verbot von Reihenfolgevertauschungen auf dem Shop Floor und die niedrigen Durchlaufzeiten sorgen für eine hohe *Steuerbarkeit* der Produktion. Die Auftragsfreigabe an nur einer Stelle im Wertstrom verhindert das Auftreten nicht gut aufeinander abgestimmter oder gar widersprüchlicher Steuerimpulse und trägt so zum plangemäßen Produktionsverlauf bei.

Die Auftragsfreigabe bildet die Schnittstelle zur Produktionsplanung. Wenn mit den Steuerungsregeln festgelegt ist, wie freigegebene Aufträge als ein gleichmäßiger Produktionsfluss gesteuert werden, kann bestimmt werden, wie die zugehörige Produktionsplanung auszusehen hat (Abschn. 3.4). Die festgelegten Steuerungsprinzipien nun verbieten einen prognoseorientierten Planungsansatz, bei dem die Produktionsprozesse abhängig von prognostizierten Ereignissen geplant und dann unabhängig voneinander angesteuert werden. Die hier dargestellten Gestaltungsrichtlinien der Produktionssteuerung verfolgen unter anderem das Ziel, die Folgen des *Prognoseproblems der Produktionsplanung* nicht auf die Produktion übergreifen zu lassen. Sie sind daher mit prognosebasierten Steuerungsansätzen unvereinbar. Bevor auf die einzelnen Steuerungsprinzipien näher eingegangen werden kann, ist daher zunächst dieses Prognoseproblem und sein Einfluss auf die Gestaltung der Produktionssteuerung näher zu beleuchten.

Turbulenzcharakteristik

Prognoseproblem Auf die Produktionsplanung trifft das Prognoseproblem jeder Planung zu: Weil sie sich auf die nicht exakt vorhersehbare Zukunft bezieht, stimmt sie nie genau. Das gilt umso mehr, je langfristiger die Planungen und je komplexer die zu planenden Abläufe sind. Es lässt sich allenfalls im Bereich der jeweils zulässigen Abweichungen richtig planen. Das Zusammenspiel von Kunden, Produktionsprozessen und Lieferanten in einer Fabrik gehört sicherlich mit zu den komplexesten Abläufen, die der Mensch planerisch zu beherrschen versucht. Zur Beschreibung dieses Zusammenspiels hat sich der Begriff der *Turbulenz* durchgesetzt. Das aus dem Lateinischen stammende Wort steht für Wirbel, in der Physik für die Wirbelbildung bei Strömungen. Charakteristisch ist, dass die Bewegung von Teilchen in turbulenten Strömungen nicht mathematisch beschreibbar ist – übertragen heißt dies, dass der jeweilige Verbleib von Aufträgen und Erzeugnissen nicht planbar ist.

Das Prognoseproblem liegt in den drei turbulenzerzeugenden Mitspielern begründet. Zunächst einmal läuft die Produktion wegen vielerlei Störungen nicht nach Plan. Maschinen fallen aus, werden ungeplant gewartet, Personal wird krank, die Ausschussquote steigt oder sinkt. Dann kaufen die Kunden meist nicht das, was sie laut Prognose kaufen sollen. Der Kundenbedarf schwankt nicht nur, er schwankt vor allem nicht so, wie geplant. Und zu guter letzt gibt es unzuverlässige Lieferanten. Benötigtes Material ist trotz Disposition nicht in ausreichender Menge oder hinreichender Qualität verfügbar. Das Ergebnis: Trotz genauer Planung können Liefertermine nicht eingehalten werden. Das berechtigte Ziel der Produktionsplaner ist, die Unsicherheit, ob Lieferzusagen eingehalten werden können, durch Pla-

nung zu verringern. Wenn dies aber wegen der Turbulenzen in der Auftragsabwicklung regelmäßig, fast zwangsläufig misslingt, weshalb sollte man dann überhaupt planen?

Neben dem unvorhersehbaren Verhalten der Akteure sind vor allem die zur Planung erforderlichen *Übergangszeiten* ein kritischer Punkt. Diese Übergangszeiten bilden einen Zeitpuffer, der einem Auftrag zwischen zwei Produktionsprozessen eingeräumt wird. Er ist begründet in der für den Transport notwendigen Zeit sowie der Wartezeit vor dem Folgeprozess, der in der Regel noch mit einem anderen Auftrag belegt ist. Möglicherweise wartet auch noch ein weiterer Auftrag. Geprägt von folgenreichen Störungen rechnet man also lieber mit dem Schlimmsten und plant in der Übergangszeit einen großen zeitlichen Sicherheitspuffer ein. So reißt der Materialfluss nicht ab, falls die Vorgänger-Maschine mal länger ausfällt. Durch die langen Übergangszeiten sind bei störungsfreiem Betrieb alle Aufträge zu früh fertig und stehen dann in der Warteschlange von ihrem jeweiligen Folgeprozess, der ja plangemäß noch einige andere Aufträge zu bearbeiten hat. Der Bestand in der Produktion steigt mit der Verlängerung der Übergangszeiten; die Produktion wird durch die langen Durchlaufzeiten sehr träge. Außerdem erscheint es nicht so dringlich, Standard-Termine einzuhalten, da ja jeder weiß, mit wieviel ‚Luft' geplant wird. Wirklich wichtige Teile erhalten daher einen Eilauftrag. Damit überholen sie andere Aufträge und bremsen diese aus. Planung und Steuerung erzeugen sich so ihre Turbulenzen selbst.

Turbulenzkeime Die Auslöser von Turbulenzen können in der Planungsebene *Schwankungen* von Mengen, *Streuungen* von Zeitdauern und *Änderungsfrequenzen* von technischen Merkmalen sein. In der Steuerungsebene treten Turbulenzkeime in Form unerwarteter *Abweichungen* hinsichtlich Mengen, Terminen und Qualitäten auf (Wiendahl 2006). Jede dieser vier Auslösungsarten kann durch die drei verursachenden Prozesse Kunde, Produktion und Lieferant hervorgerufen werden. Mit diesem Schema kann man in einem Unternehmen auf die Suche nach Turbulenzkeimen gehen und folgendes entdecken:

- Schwankungen treten auf, wenn in unterschiedlichen Zeitperioden verschiedene Mengen benötigt werden. Kundenseitig gibt es Bedarfs- und Variantenmixschwankungen. Produktionsseitig kann das Kapazitätsangebot schwanken, beispielsweise durch geplante Instandhaltung, Inbetriebnahme neuer Ressourcen, Urlaubszeiten der Mitarbeiter. Lieferantenseitig verändert die Preisgestaltung über Preisstaffeln oder Mindermengenzuschläge den ermittelten Bedarf. Zusätzlich kann in ungünstigem Zusammenwirken mit der Produktion unter anderem durch

die Losgrößenbildung ein Aufschaukeln der Mengenbedarfe im sogenannten Peitschenknalleffekt (Bullwhip-Effekt) entstehen.

- Streuungen treten auf als unterschiedliche, erzeugnis- oder auftragsabhängige Zeitdauern innerhalb einer Periode. Lieferzeiten sind vor allem im Anlagenbau bei jedem Auftrag verschieden. Durch Chargenbildung oder durch prioritätenabhängige Reihenfolgebildung treten in der Produktion unterschiedliche Durchlaufzeiten auf. Wiederbeschaffungszeiten streuen bei komplexen auftragsbezogen beschafften Teilen wie beispielsweise großen Sondergussteilen zum Teil erheblich, vor allem wenn bei Qualitätsmängeln im Gussteil (Lunker) ein zweiter Anlauf nötig wird.

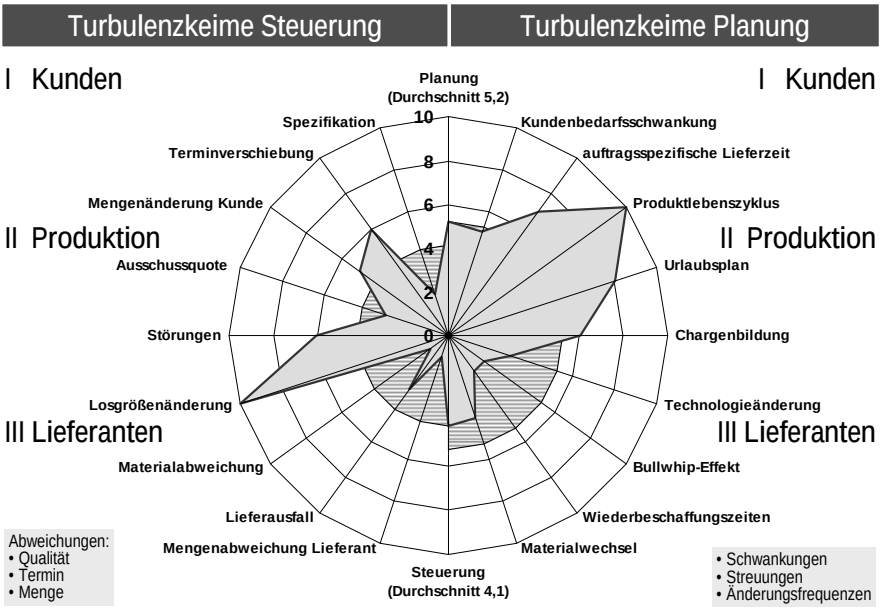


Abb. 3.21. Turbulenzcharakteristik (Zahlenbeispiel)

- Eine große Änderungsfrequenz der Merkmale von Produkten, Produktionstechnologien sowie Materialien und Einkaufsteilen ist turbulenzerzeugend, da das erforderliche Änderungsmanagement für die jeweilige Anlauf- und Auslaufplanung in der Produktionsplanung zu berücksichtigen ist.
- Bei unerwarteten Abweichungen nach der Auftragsfreigabe erfordern stochastische Ereignisse einen steuernden Eingriff, was wiederum andere unvorhergesehene Effekte und weiteren Steuerungsbedarf nach sich ziehen kann. Ein Auslöser sind unbeständige Kunden, die Termin, Men-

ge oder Spezifikation ihrer Aufträge nach erfolgter Freigabe nochmals ändern. Mit in diese Gruppe gehören aber auch Vertrieb oder Management, die zuweilen die Prioritäten von Aufträgen nachträglich ändern. Eine weitere Störgröße können konstruktive Änderungen zur Behebung von Konstruktionsfehlern sein. Ein zweiter Auslöser ist die unzuverlässige Produktion mit ihren Maschinenstörungen, Personalausfällen und erhöhten Ausschussraten. Und schließlich gibt es noch unzuverlässige Lieferanten, deren Lieferung eine Mengen-, Termin- oder Materialabweichung aufweisen kann.

Die für einen Wertstrom relevanten Turbulenzkeime lassen sich in einer *Turbulenzcharakteristik* übersichtlich darstellen (Abb. 3.21). Die Relevanz jedes Turbulenzkeims kann man qualitativ mit Punkten bewerten und erhält so eine Übersicht, welche Probleme bei der Soll-Konzeption gelöst werden müssen. Die jeweiligen Durchschnittswerte für Planung und Steuerung zeigen, ob im Ist-Zustand eher Planungsprobleme oder eher Störungen durch Abweichungen der Ist-Werte auftreten. Um das Schema der Turbulenzkeime komplett zu zeigen, ist im Zahlenbeispiel für jeden Turbulenzkeim-Typ eine Bewertung der jeweiligen Relevanz mit Punkten durchgeführt. Im Anwendungsfall wir man lediglich eine Auswahl der zehn oder zwölf wichtigsten Turbulenzkeime auftragen. In Schraffur sind die jeweiligen Durchschnittswerte für Planung und Steuerung dargestellt.

Turbulenter und laminarer Auftragsstrom

Für die Fertigungssteuerung gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Gestaltungsansätze, um mit Turbulenzen umzugehen. Der turbulenzorientierte Ansatz versucht die Turbulenzen durch eine differenzierte Planung und Steuerung zu beherrschen während der wertstromorientierte Ansatz auf die Vermeidung von Turbulenzen abzielt, um eine einfache mittelwertbasierte Planung zu ermöglichen (Wiendahl 2006). Im ersten Fall sind komplexe Steuerungssysteme erforderlich während im zweiten Fall einfache Steuerungsprinzipien mit einem entsprechend umgestalteten Shop Floor kombiniert werden.

Beim *turbulenzorientierten* Ansatz geht man davon aus, dass Turbulenzen unvermeidbar sind und es daher vor allem darauf ankommt, den Umgang mit ihnen zu beherrschen. Dazu setzt man ein hinreichend komplexes, mit zahlreichen Eingriffsmöglichkeiten in die Produktion versehenes Produktionssteuerungssystem ein. Die turbulente Auftragsströmung sei visualisiert mit dem Modell eines quer angeströmten, unregelmäßigen Rohrbündels (Abb. 3.22). Die Wirbel der turbulenten Strömung liegen aus Kundensicht hinter den Turbulenzkeimen der Produktion. Aus Material-

flusssicht ist dies gerade umgekehrt, beim Turbulenzkeim Maschinenstörung befindet sich die Verwirbelung also als Auftragsstau vor der betroffenen Maschine. Die Steuerungselemente müssen nun genau an dieser Stelle ansetzen und Prioritäten der Aufträge ändern oder die Aufträge anderen, störungsfreien Ressourcen zuordnen. Bei der turbulenzorientierten Auftragsabwicklung werden die Warteschleifen der Aufträge derart steuernd beeinflusst.

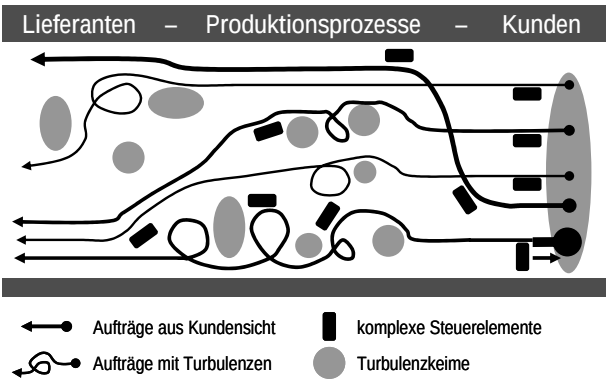


Abb. 3.22. Turbulenzorientierte Auftragsabwicklung

Das Funktionieren dieses Ansatzes hängt davon ab, inwieweit es gelingt, Turbulenzauswirkungen abzuschwächen. Wichtige Instrumente dazu sind einerseits die Erhöhung der Flexibilität insbesondere der Ressourcen sowie andererseits die Vergrößerung der Sicherheitspuffer in den Planzeiten, den Übergangszeiten oder bei den Beständen. Jeder Auftrag wird entsprechend seiner unterschiedlichen Anforderungen hinsichtlich Lieferzeiten und Mengen differenziert behandelt. Zahlreiche Randbedingungen und Restriktionen, die aus der komplexen Vernetzung teilweise nur eingeschränkt prozesssicherer Produktionsprozesse resultieren, können berücksichtigt werden. Die individuelle Abwicklung aller Aufträge kann auch bei unterschiedlichsten Anforderungen sehr passgenau sein; die Produktion kann ‚alles' möglich machen. Dem stehen allerdings ein sehr hoher Planungs- und *Steuerungsaufwand*, eine der Komplexität geschuldete *Intransparenz* der Produktionsabläufe und teilweise auch der Auftragsabwicklung sowie letztlich auch *Stabilitätsrisiken* gegenüber. Auch mit intelligenten Planungs- und Steuerungssystemen kommt man letztlich nicht am Prognoseproblem und dem Problem der Planung mit Übergangszeiten vorbei.

Beim wertstromorientierten, *turbulenzvermeidenden* Ansatz, wie er hier weiter verfolgt werden soll, versucht man, Turbulenzursachen zu beseitigen oder wenigstens möglichst stark zu reduzieren. Dazu segmentiert man

zunächst die Produktion, um einheitlich strukturierte Teilbereiche zu erhalten, die auf ganz bestimmte Anforderungsprofile zugeschnitten sind (Abschn. 3.1). Dies lässt sich modellieren als ein parallel geführtes Röhrensystem (Abb. 3.23). In den spezialisierten Segmenten kann dann mit Hilfe sehr einfacher Steuerungsprinzipien ein *laminarer* Produktionsfluss erzeugt werden, der aufgrund seiner Einfachheit in seinem Verhalten gut prognostizierbar ist. Anstelle der zahlreichen Steuerungselemente gibt es eine Auftragsfreigabe, die wie ein Turbulenzfilter vor jedem Segment angeordnet ist. Jeder Auftrag wird einem Segment zugeordnet und dann nach Maßgabe der für dieses Segment gültigen Regeln so freigegeben, dass eine laminare Strömung im Segment gewährleistet ist.

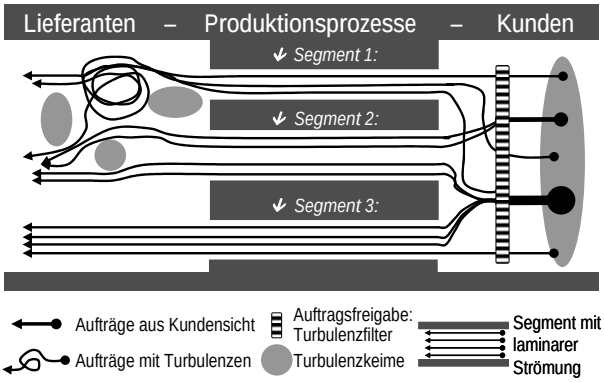


Abb. 3.23. Wertstromorientierte, turbulenzvermeidende Auftragsabwicklung

Ziel ist es, möglichst vieles auf die gleiche Weise zu tun, die Komplexität unterschiedlicher Produktionsabläufe also auf wenige *Standardabläufe* zu reduzieren. Damit verbunden ist die Verbesserung der internen Logistikleistung. Insbesondere die Verkürzung von Auftrags- und Produktionsdurchlaufzeit kann zahlreiche Turbulenzkeime im Ansatz ersticken, da dann für viele Abweichungen die Zeit zu knapp wird. Ferner können mit Hilfe von *Eintrittsbarrieren* wie Lieferantenbewertung oder logistikleistungsabhängiger Preisgestaltung unzuverlässige Lieferanten befähigt sowie dem Kunden eigentlich unwichtige Eilaufträge, Sonderanfertigungen und Auftragsänderungen vermieden werden. Produktionsintern ist die Einführung einer vorbeugenden Instandhaltung zur Störungsvermeidung von zentraler Bedeutung.

Zielsetzungen der Produktionssteuerung

Die Produktionsteuerung ist möglichst einfach und standardisiert zu gestalten. Notwendig ist die strikte Einhaltung der einmal festgelegten Standards durch Mitarbeiter und Management. Vorausgesetzt werden zuverlässige, aufeinander abgestimmte, am Kundentakt ausgerichtete Produktionsprozesse. Aufgabe der Produktionsplanung ist es dann, eine flexible und dennoch gleichmäßige Reaktion auf das turbulente Umfeld der Fabrik mit dieser Art der Steuerung zu ermöglichen (Abschn. 3.4).

3.3.1 Direkte Verkopplung von Produktionsprozessen

Falls die Integration von Produktionsprozessen in einer Fließfertigung nach Gestaltungsrichtlinie 2 (Abschn. 3.2.2) nicht gelingt, lassen sich die getrennten Produktionsprozesse auch als *Reihenfertigung* verkoppeln. Die Verkopplung erfolgt durch eine *FIFO-Bahn*, wobei das Akronym FIFO für „First In – First Out“ steht. Ein Teil, das einen Produktionsprozess zuerst erreicht, soll diesen auch als erstes wieder verlassen – und nicht etwa andere Teile überholen lassen. Durch diese Regel wird sichergestellt, dass die einmal festgelegte Reihenfolge von Produktionsaufträgen auf dem Shop Floor über alle Produktionsprozesse hinweg eingehalten wird. Durch den Reihenfolgezwang wird vermieden, dass sich die im betrieblichen Alltag so häufige FINO-Regel der Abarbeitung „First In – Never Out“ durchsetzen kann. Das zweite wesentliche Merkmal der FIFO-Bahn ist, dass jede Bahn eine endliche Länge erhält, der Bestand also durch einen zulässigen Maximalwert begrenzt wird. Folgende Gestaltungsrichtlinie ist zur Verkopplung getrennter Produktionsprozesse anzuwenden:

Gestaltungsrichtlinie 3: *FIFO-Verkopplung*

Aufeinanderfolgende Produktionsprozesse, die aus technologischen oder organisatorischen Gründen nicht zur Fließfertigung integriert werden können, sind soweit möglich in einer Reihenfertigung mit Bestandsobergrenze zu verkoppeln.

Die FIFO-Verkopplung wird in der Lean-Management-Literatur als ‚sequential pull’ bezeichnet. Damit wird zum einen das ‚Ziehen’ des Kunden im Unterschied zu prognoseorientierten Push-Systemen betont, da dank der *Bestandsobergrenze* Aufträge nur dann freigegeben werden, wenn ein Teil am Ende der Kette durch den Kunden entnommen wurde. Die Reihenfertigung erlaubt in dieser Weise eine Ausrichtung am Kundentakt. Zum anderen wird die vorgegebene Sequenz der in festgelegter *Reihenfolge* ab-

zuarbeitenden Aufträge benannt. Es ist allerdings zu beachten, dass es sich aus Materialflusssicht bei der FIFO-Verkopplung um eine Push-Produktion handelt. Das Erzeugnis wird nämlich vom vorgelagerten Produktionsprozess durch die nachfolgende Produktion entlang des Wertstromes geschoben. Allenfalls die Freigabelogik der Aufträge könnte man mit ‚Pull' bezeichnen. Möglicherweise eignet sich die Push-Pull-Unterscheidung auch nicht, um Steuerungssysteme halbwegs differenziert zu beschreiben. Deshalb wurde in diesem Buch auch überwiegend darauf verzichtet.

Im Folgenden sind nun zunächst die *Funktionslogik* und die passende Symbolik der Verkopplung von Produktionsprozessen mit einer FIFO-Bahn darzulegen. Entsprechend der unterschiedlichen technologischen Hindernisse bei der Einführung einer Fließfertigung (Abschn. 3.2.2) gibt es auch unterschiedliche *Anwendungsfälle* der FIFO-Verkopplung, da sie einige der Hindernisse zu überwinden erlaubt. Besondere Beachtung verdienen die verschiedenen Möglichkeiten der *Verzweigung* und Zusammenführung von Wertströmen.

Funktionslogik der FIFO-Verkopplung

Signale Eine FIFO-Bahn wird symbolisiert durch zwei parallele Linien, die zwischen die verkoppelten Produktionsprozesse gezeichnet werden. Ein mittig eingezeichneter Pfeil mit dem Akronym FIFO gibt die Richtung an und zeigt, dass die einmal festgelegte Reihenfolge im Wertstrom erhalten bleiben soll (Abb. 3.24). Bei der Produktionsprozess-Verkopplung mit einer FIFO-Bahn gibt der Folgeprozess ein *Freigabesignal* an den Vorgängerprozess, sobald er ein Erzeugnis der FIFO-Bahn entnimmt. So wird sichergestellt, dass der maximale Bestand nie überschritten wird. Der Steuerimpuls wird mit einem gestrichelten Pfeil eingezeichnet. Das Signal wird symbolisiert durch einen Kreis, hier mit ‚ConWIP' bezeichnet. Dieses Akronym steht für ‚Constant Work in Process'. Die sich auf dem Shop Floor in Arbeit befindlichen Teile sollen also einem konstanten Arbeitsvorrat entsprechen. Als Steuergröße wird die Bestandsobergrenze als ‚Max. *Stck*' im Kreissymbol eingetragen.

Das Freigabe-Signal kann nun beispielsweise elektronisch übermittelt werden. Eine Alternative wäre, laminierte Pappkarten entsprechend der maximalen Stückzahl zu erstellen. Diese ConWIP-Karten legt man den Teilen bei ihrem Transport über die FIFO-Bahn bei. Wenn die Bearbeitung des Teils im Folgeprozess beginnt, bringt man die ConWIP-Karte zum Vorgängerprozess zurück, der dadurch die Freigabe zur Produktion erhält und die Karte wiederum dem Erzeugnis beilegt. Der vorgelagerte Produktionsprozess erhält neben der Freigabe durch das ConWIP-Signal auch den

eigentlichen *Produktionsauftrag*. Darin ist festgelegt, welche Variante als nächstes entsprechend der Vorgaben der Produktionsplanung zu produzieren ist. Dabei ist sowohl die Freigabe von Einzelteilen als auch die Freigabe eines Produktionsloses je Produktionsauftrag möglich – je nach den Anforderungen und der entsprechenden Gestaltung der Produktionsplanung (Abschn. 3.4.1).

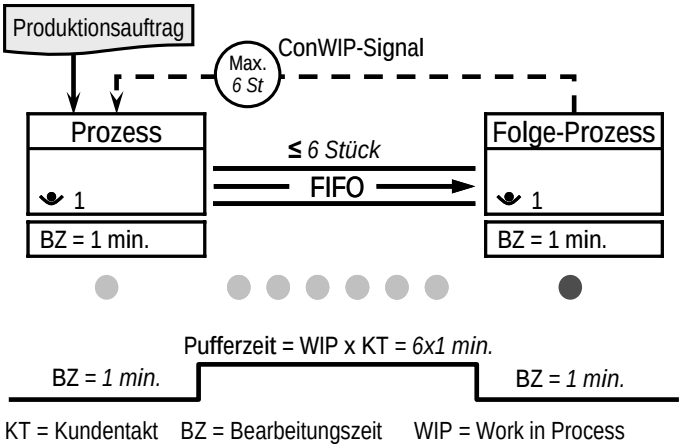


Abb. 3.24. Die FIFO-Verkopplung

Bestände Im eingezeichneten Zahlenbeispiel ist der ConWIP-Bestand auf maximal sechs Stück festgelegt (Abb. 3.24). Bei einem Kundentakt von einer Minute, der hier der Einfachheit halber identisch mit den beiden Bearbeitungszeiten von je einer Minute gesetzt ist, ergibt sich ein WIP-Bestand von sechs Minuten. Für ein Teil resultiert daraus eine Durchlaufzeit von acht Minuten. Gegenüber den zwei Minuten Durchlaufzeit in der Fließfertigung (Abb. 3.14) steigt die Durchlaufzeit also deutlich. Sie bleibt jedoch erheblich unter dem Stunden oder Tage bemessenden Wert einer zwischengeschalteten Lagerung. Durch die FIFO-Methode wird der Bestand auf einem definierten Niveau geregelt und die *Durchlaufzeit* nach oben hin begrenzt und je nach Anwendungsfall auch nahezu konstant gehalten. Dadurch ist sie sehr gut vorhersagbar und stellt somit geringere Anforderungen an das Planungs- und Steuerungssystem.

Über dem Symbol der FIFO-Bahn wird nicht, wie meist üblich, die Bestandsobergrenze, sondern der jeweils in der Wertstromanalyse gezählte Bestand eingetragen. Dieser kann unter – oder bei Steuerungsfehlern auch über – der im Kreissymbol eingetragenen Maximalmenge liegen. Wenn die FIFO-Bahn zur Taktabstimmung zwischen den Produktionsprozessen dient oder andere *Pufferfunktionen* übernimmt, dann liegt der durchschnitt-

liche Bestand niedriger als die festgelegte Bestandsobergrenze, da ja andernfalls kein Platz zum Abpuffern wäre. Bei der Soll-Konzeption trägt man über der FIFO-Bahn den angestrebten durchschnittlichen Bestand ein. Bei der Umsetzung muss man aber darauf achten, dass genügend Pufferplätze für den Maximalbestand vorhanden sind.

Die exakte *Auslegung* des ConWIP-Bestandes ist vor allem bei komplexen Verhältnissen nicht immer leicht rechnerisch möglich. Dann wählt man das sehr einfache empirische Vorgehen der kontinuierlichen Verbesserung. Zunächst legt man einen recht hohen ConWIP-Bestand fest und verkleinert diesen dann schrittweise, bis die ersten kurzzeitigen Materialengpässe auftauchen. Dann müssen die beteiligten Produktionsprozesse verbessert oder der Bestand leicht angehoben werden.

Qualitätssicherung Die Einhaltung der Teilequalität ist für die richtige Funktionsweise der FIFO-Verkopplung eine zentrale Voraussetzung. Werden nämlich Schlechtteile weitergegeben und nach Durchlaufen der FIFO-Bahn im Folgeprozess entdeckt, dann wird durch die nun notwendige Nachproduktion oder auch Nachbearbeitung die Reihenfolge der Aufträge durcheinandergebracht. Die Durchlaufzeiten schwanken nun in nicht vorhersehbarer Weise. Durch diese Turbulenzen auf dem Shop Floor sind zudem Fertigstellungstermine nicht mehr so einfach vorhersagbar. Falls also in einem Produktionsprozess Ausschuss nicht vermieden werden kann, ist beispielsweise durch *In-Prozess-Prüfung* sicherzustellen, dass ausschließlich IO-Teile an den Folgeprozess weitergegeben werden. Eine trickreiche Notlösung für eher variantenarme Produktionen ist auch, beim Folgeprozess einen Sicherheitsbestand an Teilen aller Varianten bereitzuhalten, die dann gegebenenfalls als Ersatz eingeschleust werden. Das mag zwar gut funktionieren, ist zugleich aber auch ein treffendes Beispiel für die Standardisierung von Verschwendungsprozessen.

FIFO-Ketten Wenn mehrere Produktionsprozesse mit FIFO-Bahnen hintereinandergeschaltet werden, dann ist ein Steuerimpuls, übermittelt vom letzten an den ersten Prozess der Kette, ausreichend (Abb. 3.25, unten). In diesem Fall wird die Bestandsobergrenze im ConWIP-Symbol für alle Prozesse gemeinsam festgelegt und nicht den einzelnen FIFO-Bahnen zugeordnet. Das hat zur Folge, dass jede der einbezogenen FIFO-Bahnen den kompletten Maximalbestand aufnehmen können muss. Wenn also im Zahlenbeispiel die Bestandsobergrenzen vor den Prozessen 2 und 3 zu fünfzehn Stück addiert werden, dann werden auch vor dem Prozess 2 fünfzehn und nicht mehr nur fünf Pufferplätze benötigt. Der WIP in der ganzen Kette erhöht sich dadurch jedoch nicht, da nicht mehr beide FIFO-Bahnen vollständig gefüllt sein können. Bei temporär *wandernden Engpässen* hat das den Vorteil, dass der Puffer nun jeweils größer ist, und damit höhere

Schwankungsbreiten abdeckt, ohne dass der Bestand entsprechend höher festzulegen ist.

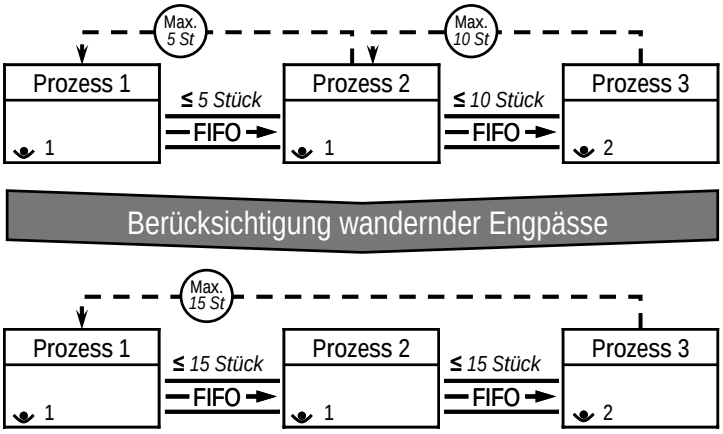


Abb. 3.25. Vereinfachte FIFO-Verkopplung bei mehreren Prozessen

Anwendungsfälle der FIFO-Verkopplung

Im einfachsten Fall dient die FIFO-Verkopplung der Überwindung größerer räumlicher Distanzen zwischen zwei Produktionsprozessen. Als Puffer überbrückt die FIFO-Verkopplung Taktabstimmungsprobleme, unterschiedliche Rüstzeiten und Störungen oder ermöglicht die Chargenbildung in einem Folgeprozess. Außerdem ermöglicht die FIFO-Verkopplung eine besondere Form der Lieferantenanbindung. Diese sechs Anwendungsfälle werden im Folgenden näher beleuchtet.

Distanzüberbrückung Die FIFO-Verkopplung eignet sich bei Produktionsprozessen, die räumlich getrennt sind und sich aus technischen Gründen oder wegen der zu hohen Änderungskosten nicht nebeneinander anordnen lassen. Um die FIFO-Bahn zu realisieren, lassen sich gerade bei größeren Distanzen sehr gut Transportbänder oder andere Fördertechnik einsetzen. So ließe sich, wie schon die graphische Darstellung mit dem FIFO-Symbol suggeriert, auch One Piece Flow in der Reihenfertigung realisieren, lediglich verlängert um die Transportzeit. Häufig wird man aber aus Gründen der Kosten und der Wandlungsfähigkeit die Produktionsprozesse nicht physisch fix verketten wollen. Beim manuellen *Transport* kleinerer Teile wird man nicht einzeln, sondern in Gebindemengen transportieren. Das Gebinde wird symbolisch dargestellt durch ein oben offenes Rechteck, in das die jeweilige Gebindemenge eingetragen wird (Abb. 3.26, Fall 1). Dem jeweiligen Behälter legt man dann eine ConWIP-Karte bei.

Es sind zwei Gebindetypen zu unterscheiden. Unterschiedliche Teilevarianten in beliebiger Sequenz lassen sich in *Transport-Gebinden* zusammenfassen, die dann zwischen den verkoppelten Produktionsprozessen hin und her pendeln. Dieses Vorgehen erlaubt eine Einzelstückfertigung, wie sie bei kundenspezifischen Teilen notwendig und bei hoher Variantenanzahl sehr hilfreich ist. In der Serienfertigung mit eher wenigen Varianten kann man auch sortenreine Gebinde bilden. Diese *Gleichteil-Gebinde* entsprechen kleinen Losgrößen, die durch die komplette Produktion laufen.

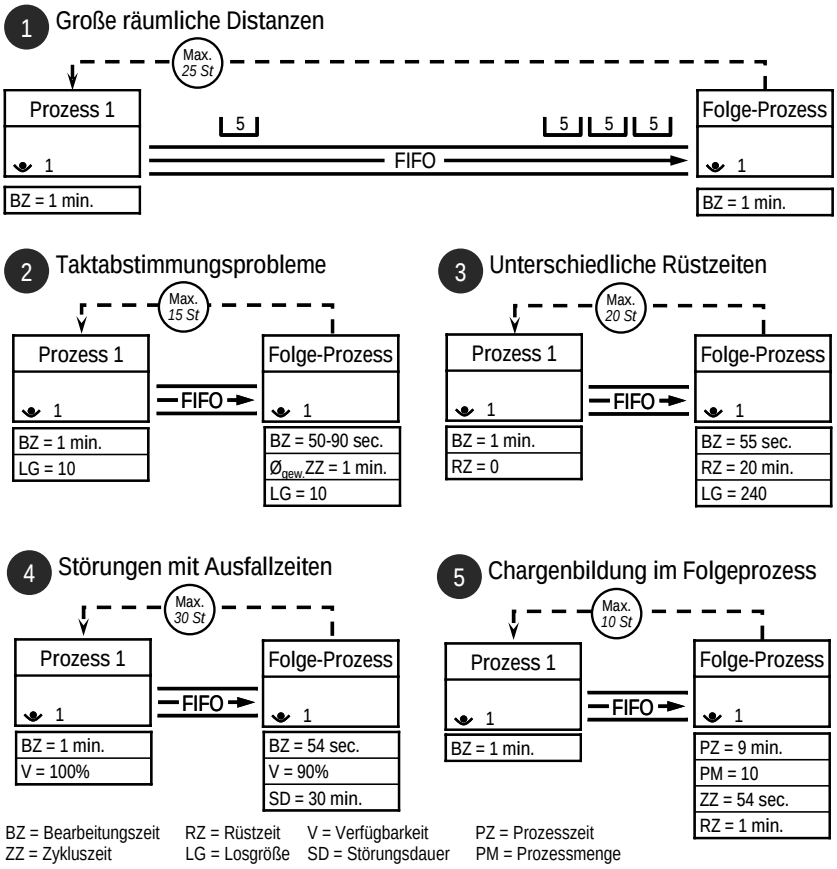


Abb. 3.26. Anwendungsfälle der FIFO-Verkopplung

Taktabstimmungspuffer Die vergleichsweise geringen Bestände auf der FIFO-Bahn ermöglichen es, die Produktionsprozesse so weit zu entkoppeln, dass variantenabhängige *Taktabweichungen* ausgeglichen werden können. Beispielsweise kann der Folgeprozess zeitweise deutlich schneller und zeitweise deutlich langsamer laufen als der vorgelagerte Prozess (Abb.

3.26, Fall 2). Die FIFO-Bahn puffert dann die relativ zueinander schwankenden Bedarfe gegenseitig ab. So könnte beispielsweise hinter einer Fließmontage ein Prüfprozess mit einer Zykluszeit liegen, die teilweise größer als der Kundentakt ist. Die Kapazität dieses Prüfprozesses ist dann ausreichend, wenn die durchschnittliche, nach Variantenstückzahlen gewichtete Zykluszeit ($Ø_{gew}$ ZZ) kleiner als der Kundentakt ist.

Die erforderliche Mindestlänge ($ConWIP_{min}$) des FIFO-Bandes errechnet sich aus der Taktabweichung der maximalen Anzahl der in Sequenz produzierten Erzeugnisse mit maximaler Zykluszeit gegenüber dem Kundentakt. Im Zahlenbeispiel betragen bei einem Kundentakt von einer Minute die maximale Zykluszeit im Folgeprozess 90 Sekunden und die Losgröße zehn Stück (Abb. 3.26, Fall 2). Der FIFO-Puffer muss in diesem Fall mindestens fünf Stück groß sein, um die temporäre Überproduktion des vorhergehenden Prozesses aufzufangen. Dieser Puffer ist bei späteren, kürzeren Prüfzyklen wieder abzubauen, damit Platz geschaffen wird für den langsameren Teileabfluss bei längeren Prüfzyklen.

$$ConWIP_{\min} = \frac{(ZZ_{max} - KT) \times LG}{KT} = \frac{(90\,\text{sec.} - 60\,\text{sec.}) \times 10\ Stck.}{60\,\text{sec.}} = 5\ Stck. \tag{3.2}$$

mit: $ConWIP_{min}$ minimale Bestandobergrenze
ZZ_{max} maximale Zykluszeit
KT Kundentakt
LG Losgröße

Auch wenn man den FIFO-Puffer sicherheitshalber etwas größer wählt: Für den Variantenmix gelten nun in Abhängigkeit von Taktabweichung und Puffergröße Reihenfolgerestriktionen, die in der Produktionsplanung zu berücksichtigen sind (Abschn. 3.4.2).

Rüstzeitpuffer Der FIFO-Puffer kann auch genutzt werden, um die während des Rüstens des Folgeprozesses vom vorgelagerten Prozess produzierten Teile abzupuffern. Das ist natürlich nur erforderlich, wenn beim vorgelagerten Prozess keine oder deutlich geringere Rüstzeiten anfallen. Im dargestellten Zahlenbeispiel ist bei einer Bearbeitungszeit von einer Minute im vorgelagerten Prozess sowie zwanzig Minuten Rüstzeit im Folgeprozess genau diese Zeitdifferenz mit zwanzig Stück abzudecken. Entsprechend ist die Bestandobergrenze festzulegen (Abb. 3.26, Fall 3). Aus der der *Stückzeitdifferenz* von fünf Sekunden zwischen beiden Prozessen ergibt sich die minimale Losgröße, die für den Folgeprozess erforderlich ist, um die beim Rüsten verlorene Zeit gegenüber dem vorgelagerten Prozess wieder einzuholen. Die minimale Losgröße ergibt sich durch Division der Rüstzeit durch die Stückzeitdifferenz zu 240 Stück.

Störungspuffer Genauso wie Rüstzeiten können auch störungsbedingte Ausfälle des Folgeprozesses abgepuffert werden. Hierbei ist passend zu den Erfahrungswerten die längste abzupuffernde *Störungsdauer* (SD) festzulegen (Abb. 3.26, Fall 4). Der FIFO-Puffer ist dann genauso groß auszulegen wie die abgeschätzte Störungsdauer. Bleiben die Störungen wider Erwarten aus, dann läuft der FIFO-Puffer allerdings leer, weil der vorhergehende Prozess trotz genügend Freigabesignale nicht mit dem Produzieren hinterherkommt, sondern im Zahlenbeispiel pro Stück sechs Sekunden verliert. In diesen Fällen kann der Materialfluss abreißen und der Folgeprozess hat Wartezeiten.

Chargenpuffer Die FIFO-Verkopplung ermöglicht außerdem die *Chargenbildung* im Folgeprozess, das heißt die Sammlung von Teilen vor dem Chargen-Prozess in der erforderlichen Prozessmenge. Der FIFO-Puffer ist dann mindestens so groß auszulegen wie eine Charge Teile hat. Die die Bestandsobergrenze im Zahlenbeispiel entspricht dann der Prozessmenge von zehn Stück (Abb. 3.26, Fall 5). Vorausgesetzt ist dabei, dass die vom vorgelagerten Prozess gelieferte Sequenz an Teilen auch zu einer Charge zusammengefasst werden kann. So könnte man mehrere Gussteile mit kundenspezifischen Bohrungen gemeinsam in einem Waschkorb durch die Waschmaschine laufen lassen. In einer variantenspezifischen Oberflächenbehandlung (Lackieren, Galvanisieren, PVCD-Beschichten) können die Teile nicht in beliebiger Reihenfolge bearbeitet werden. Hierauf ist dann die Reihenfolgeplanung abzustimmen (Abschn. 3.4.3).

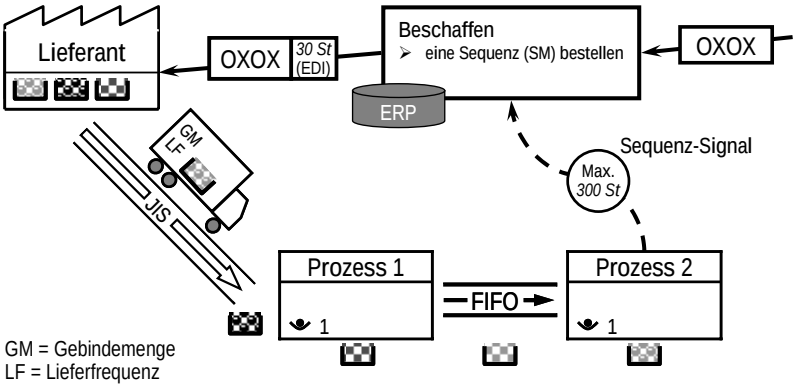


Abb. 3.27. Materialanlieferung ‚Just in Sequence'

Lieferantenanbindung Die FIFO-Verkopplung lässt sich auch über eine Lieferkette hinweg realisieren. Das ist immer dann erforderlich, wenn keine Rohmaterialien oder Standardteile, wie beim Lieferanten-Kanban (Abschn. 3.3.2), sondern variantenspezifische Kaufteile beschafft werden.

Wenn es sehr viele Varianten gibt, wird man sich nicht alle auf Lager legen wollen oder können. Stattdessen lässt man sich den Variantenmix *Just in Sequence* (JIS) anliefern (Abb. 3.27). Immer wenn der letzte Produktionsprozess im Wertstrom das nächste Produkt fertigt, wird dem Beschaffungsprozess ein Freigabesignal übergeben. Dies berechtigt die Beschaffung, das nächste Teil in der jeweils benötigten Variante zu bestellen. Der flussabwärts liegende Produktionsprozess ist dabei der Taktgeber.

In der Praxis wird man nicht jedes Teil einzeln bestellen, schon allein weil die Anlieferung nicht einzeln, sondern in den Transportlosen eines Lkws erfolgt. Es werden also mehrere Sequenzsignale gesammelt und dann eine bestimmte *Sequenzmenge* (SM) bestellt. Als Symbol für die Sequenz verwendet man die rechteckig umrandete, doppelte Abfolge von O und X. Der entsprechende Variantenmix wird in der Produktionsplanung nach bestimmten Regeln festgelegt (Abschn. 3.4.2). Der Lieferant produziert nun die Varianten in der gewünschten Reihenfolge und ordnet sie in den Transportbehältern und diese wiederum auf dem Lkw entsprechend an. Das Symbol für die Lieferantenanbindung ist eine *JIS-Bahn* mit breitem, innen weißem Pfeil für den außerbetrieblichen Transport. In gleicher Weise lassen sich auch kundenspezifische Teile beschaffen. Bei geringen Bestellfrequenzen wie beispielsweise im Anlagenbau bleibt es jedoch bei der üblichen Einkaufsabwicklung mit Einzelbestellung innerhalb eines Rahmenvertrages.

Verzweigte Wertströme

Die FIFO-Verkopplung ermöglicht es ferner, Verzweigungen im Wertstrom bei Erhaltung des Linienprinzips darzustellen. Die einfachste Verzweigung liegt vor, wenn einige Produktvarianten einen Produktionsprozess überspringen (Abb. 3.28, Fall 1). Das Verzweigungs-Symbol gibt mit Prozentsätzen die relative Stärke eines jeden Zweigs an. Zu beachten ist, dass die Produktvarianten mit dem zusätzlichen Bearbeitungsschritt von den anderen Varianten überholt werden. Beim Variantenmix ist darauf zu achten, dass der Nebenfluss in etwa gleichmäßig ausgelastet wird.

In komplexeren Wertströmen, die stärker differenzierte Produkte enthalten, sind auch teilweise parallel verlaufende Wertstromzweige denkbar (Abb. 3.28, Fall 2). Beim späteren Zusammenfluss sollte man die FIFO-Bahnen vor dem vereinigenden Produktionsprozess so zusammenführen, dass es genau einen Bereitstellpunkt gibt. Das bringt allerdings die Reihenfolge der Auftragsfreigabe durcheinander, wenn die Prozesse in den Zweigen unterschiedliche Durchlaufzeiten (Pufferlänge und Bearbeitungszeit) haben. Bei der Planung des Produktionsmix ist wiederum eine gleichmäßige Auslastung beider Zweige anzustreben (Abschn. 3.4.2).

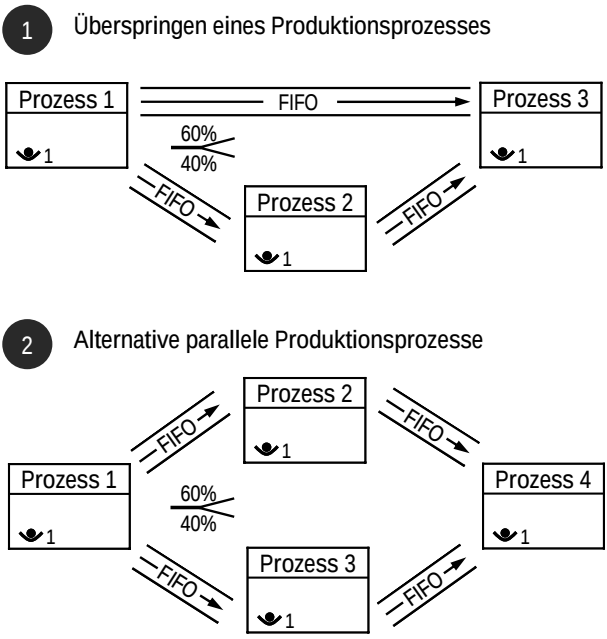


Abb. 3.28. Verzweigungen im Wertstrom

Synchronisation Die Möglichkeit zur Vereinigung zweier Wertstrom-Teilflüsse kann man auch einsetzen, um bearbeitete Teile aus mehreren Quellen in einem Füge-Prozess (Montieren, Schweißen) zusammenzuführen. Ein Produktionsprozess in einem der vorgelagerten Zweige wird nun mit ConWIP-Signal und Produktionsauftrag angesteuert wie in einer einfachen FIFO-Kette. Dies ist dann der Wertstrom-Hauptzweig und sollte daher auch der Vorproduktion des jeweils wichtigsten Teiles dienen. Der Wertstrom-Nebenzweig (es können auch mehrere sein) wird nun vom Hauptzweig über das sogenannte *Golfball-Signal* getriggert (Abb. 3.29). Diese Steuerungslogik dient der variantenbezogenen *Synchronisation* von Nebenflüssen mit dem Hauptfluss eines Wertstroms.

Die Bezeichnung ‚Golfball' bezieht sich auf eine Realisierungsmöglichkeit dieser Steuerungslogik. Der Mitarbeiter am gesteuerten Prozess im Hauptfluss wählt entsprechend der von ihm als nächstes zu produzierenden Variante einen Golfball von zugehöriger Farbgebung und leitet diesen über Rohrpost an den Mitarbeiter im Nebenzweig weiter. Dieser produziert dann die entsprechenden Varianten der im Nebenzweig produzierten Teile in der richtigen Sequenz. Mit einem hellen und einem dunklen Kreis greift das *Symbol* den ‚Golfball' und die Varianten-Sequenz auf (Abb. 3.29). Diese Methode gewährleistet die strikte Einhaltung des FIFO-Prinzips bei

der Verknüpfung von Montagebereichen mit unterschiedlichen Vorproduktionsbereichen (Baugruppenmontage, Vorfertigung). Sie ist sehr einfach anwendbar und kann auch mit anderen Hilfsmitteln umgesetzt werden – beispielsweise auf Sicht mit farbigen oder nummerierten Fähnchen an den Hauptteilen, elektronisch oder auch mit bedruckten Karten.

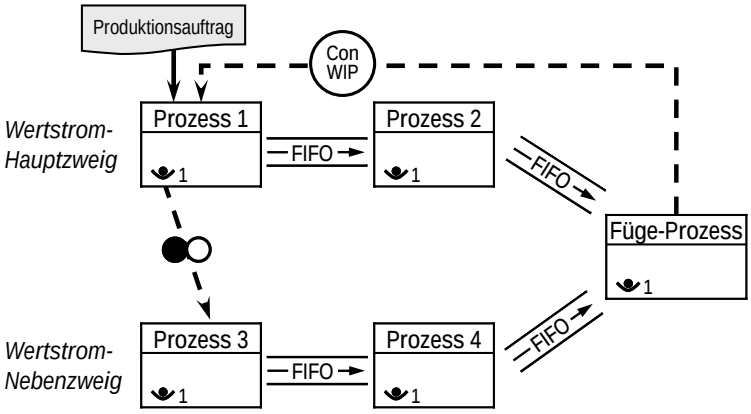


Abb. 3.29. Synchronisation mit dem ‚Golfball'-Signal

FIFO-Verkopplung in der Reihenfertigung

Bei der Verknüpfung von Produktionsprozessen mit der FIFO-Logik werden die Aufträge in festgelegter und unveränderlicher Reihenfolge durch die Produktion geschoben. Die Einhaltung der Bestandsobergrenze mit dem Freigabe-Signal sorgt für kalkulierbare Durchlaufzeiten und geringe Bestände auf dem Shop Floor.

Die Pufferfunktion der FIFO-Bahn erlaubt Transporte zwischen entfernt liegenden Produktionsprozessen einschließlich der Anbindung von Lieferanten. Für Chargenprozesse können Lose von den vorgeordneten Prozessen angesammelt werden. Zusätzlich lassen sich Taktabweichungen, Rüstzeitdifferenzen und Ausfallzeiten zwischen den verknüpften Produktionsprozessen in den definierten Grenzen abpuffern.

Die Zusammenführung mehrerer Wertstromzweige zu Fügeprozessen synchronisiert das Golfball-Signal. Dadurch ist auch in verzweigten Wertströmen die Auftragsfreigabe mit jeweils nur einem auslösenden Steuersignal ausreichend.

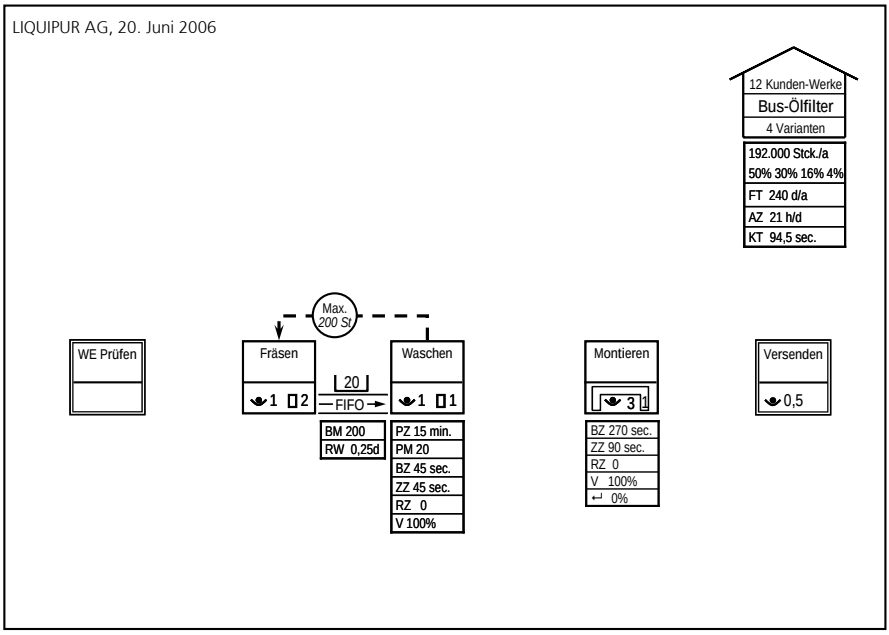


Abb. 3.30. Wertstromdesign bei Liquipur (2): FIFO-Verkopplung

Fallbeispiel Bei Liquipur sind bereits im Ist-Zustand Fräsen und Waschen durch eine FIFO-Bahn miteinander verkoppelt. Die Waschmaschine arbeitet zufriedenstellend mit Waschkörben zu je zwanzig Stück. Die Neuinvestition in eine Waschmaschine, die auf einem Förderband einen beliebigen Variantenmix einzeln zu waschen erlaubt, würde die Integration in eine Fließfertigung erlauben. Da es sich hier um eine variantenarme Serienfertigung handelt, ergibt das jedoch keinen Flexibilitätsgewinn. Zudem sind auch keine Produktivitätsgewinne wie bei der Fließmontage zu erwarten. Der Ist-Zustand bleibt daher unverändert (Abb. 3.30). Allerdings werden vor der Waschmaschine genau zehn Stellplätze für Waschkörbe markiert. Das Fräsen muss gestoppt werden, wenn keiner dieser Plätze frei ist. Dadurch ist das Freigabesignal in der entsprechenden Gestaltung des Shop Floors implementiert. Es funktioniert auf Sicht, so dass kein zusätzlicher Informationsfluss erforderlich ist. Zur Verknüpfung der anderen Produktionsprozesse ist keine FIFO-Verkopplung vorgesehen. Dies wird im weiteren Fortgang erläutert.

3.3.2 Verbrauchsorientierte Kanban-Regelung

Einsatzgründe Bei der Reihenfertigung werden die Produktionsprozesse fest verkoppelt. Dadurch ist die Sequenz der Varianten über den ganzen entsprechend gestalteten Wertstrom hinweg fix. Bei Produktionsprozessen mit sehr langen Bearbeitungszeiten bedeutet dies, dass man sehr früh wissen muss, welche Variantenabfolge benötigt wird. Dies ist nicht immer wünschenswert und macht daher insbesondere bei einer variantenreichen Produktion eine *Entkopplung* der Produktionsprozesse notwendig.

Die Reihenfertigung ist zudem am besten für rüstfreie Produktionsprozesse beziehungsweise Produktionsprozesse mit Rüstzeiten, die deutlich größer als die Bearbeitungszeit für ein Teil sind, geeignet. Setzt man bei größeren Rüstzeiten die überlappende Losfertigung ein, orientiert sich die Losgröße am Produktionsprozess mit der längsten Rüstzeit. Dabei sollten jedoch die Rüstzeiten aller verkoppelten Produktionsprozesse in etwa gleich groß sein (Abschn. 3.3.1). Andernfalls können die Prozesse mit deutlich kleinerer Rüstzeit in ihrem Kapazitätsangebot nie voll ausgenutzt werden, da durch die FIFO-Verkopplung während des Rüstens immer Wartezeiten auftreten. So ist man gezwungen, die betreffenden Betriebsmittel größer zu dimensionieren, als es Bearbeitungs- und Rüstzeit eigentlich erforderlich machen. Oder aber man verliert Variantenflexibilität, da bei den gegebenen Randbedingungen die Lose größer sind, als sie sein müssten. Nun weisen Produktionen in der Regel Produktionsprozesse mit stark unterschiedlich langen Rüstzeiten auf. In diesen Fällen ist man aus Gründen der Auslastung einerseits sowie der Flexibilität andererseits gezwungen, Wiederholteile in Losen zu produzieren, und zwar je nach Prozessschritt in *unterschiedlichen Losgrößen*.

Kanban-Logik Die einfachste Form, eine *Losfertigung* zu steuern, ist, sie gar nicht zu steuern, sondern zu regeln. Hilfsmittel dieser automatisch ablaufenden Regelung sind *Regelkarten*, die mit dem Japanischen ‚Kanban' bezeichnet werden. Die Regelung entspricht dem Funktionsprinzip eines Supermarktes, bei dem die Entnahme von Produkten aus dem Supermarktregal automatisch das Auffüllen des Regals aus dem Lagerraum oder die Nachbestellung beim Zentrallager beziehungsweise direkt beim Lieferanten auslöst. Dabei orientiert man sich oft an Verpackungseinheiten, bestellt also nicht jede Zahnpastatube einzeln, sondern nach Verkauf jeder zehnten Tube wieder eine Packung mit zehn Tuben. Diese Prinzipien und die bereits angesprochenen Variationen finden sich in der Kanban-Regelung wieder.

Die *Kanban-Regelung* setzt die beiden verknüpften Produktionsprozesse in ein fabrikinternes Kunden-Lieferanten-Verhältnis. Hierbei löst die Ent-

nahme von Teilen aus dem Supermarkt-Lager durch den Kundenprozess eine Nachproduktion dieser Teilevariante in der gleichen Menge beim Lieferprozess aus. So wird erreicht, dass immer nur die Menge nachproduziert wird, die zuvor verbraucht worden ist. Da es somit keine Planungsfehler mehr geben kann, kann auch in der Losfertigung eine Überproduktion verhindert werden. Vorausgesetzt sind dabei die richtige Auslegung des Kanban-Systems und dessen regelmäßige Pflege. Zusammenfassend lautet die Gestaltungsrichtlinie:

Gestaltungsrichtlinie 4: *Kanban-Regelung*

Produktionsprozesse, die aus technologischen Gründen Rüstzeiten aufweisen, sind bei Wiederholteilen über eine Losfertigung mit Supermarkt-Lägern zu verknüpfen.

Kanban eignet sich aufgrund der Losbildung ausschließlich für die Herstellung von Wiederholteilen. Produktionsprozesse lassen sich dann am einfachsten mit Kanban verknüpfen, wenn es wenige Varianten mit hoher Verbrauchsrate und *gleichmäßigem Bedarf* gibt. Jede Abweichung von diesen Idealbedingungen macht eine Erhöhung der Lagerreichweite im Supermarkt erforderlich. Höhere Bedarfsschwankungen benötigen einen höheren Bestand, um für den Kundenprozess immer Material verfügbar zu halten. Mit steigender Variantenzahl werden mehr Lagerplätze benötigt. Und bei geringem Verbrauch steigt durch die Losfertigung die jeweilige Reichweite.

Übersicht Insgesamt können drei Gruppen von Kanban-Regelungen unterschieden werden. Besteht die Absicht hauptsächlich darin, zwei Produktionsprozesse zu entkoppeln, dann ist die Kanban-Regelung so auszulegen, dass der Lieferprozess in der Losgröße, die der Entnahmemenge des Kundenprozesses genau entspricht, produziert. Dieser Standardfall des *Produktions-Kanban* soll im Folgenden ergänzt um nähere Ausführungen zur Arbeitsweise der Materiallogistik sowie zur Dimensionierung dargelegt werden.

Besteht die Absicht darin, zwei Produktionsprozesse mit deutlich voneinander abweichenden Rüstzeiten zu verknüpfen, dann ist die Kanban-Regelung so auszulegen, dass sie einen Losgrößenwechsel ermöglicht. Die beiden vorgestellten Formen des *Signal-Kanban* ähneln sehr einer verbrauchsorientierten Produktionssteuerung. Bei der Dimensionierung des Kanban-Systems spielt die Festlegung der richtigen Losgröße eine entscheidende Rolle. Das Rüstportfolio zeigt, wie dies mit Hilfe des EPEI-Wertes zu erfolgen hat.

Die Kanban-Regelung bietet zudem eine sehr einfach zu handhabende Methode der Beschaffung von Rohmaterialien und Kaufteilen. Das Kaufteileportfolio zeigt, für welche Teilearten ein *Lieferanten-Kanban* für eine aufwandsarme Beschaffung sorgt. Rohmaterialien stellen besondere Anforderungen an die Dimensionierung von Lager und Bestellmengen.

Produktions-Kanban

Funktionslogik Beim Produktions-Kanban befindet sich zwischen den beiden verknüpften Produktionsprozesses ein Supermarkt-Lager. In diesem Lager sind immer alle vom Lieferprozess hergestellten Varianten vorrätig, um eine ständige Versorgungssicherheit für den Kundenprozess zu erreichen. Das *Supermarkt-Lager* wird symbolisiert durch ein stilisiertes Regal mit drei Fächern (Abb. 3.31). Die Fächer sind nach links hin offen zum Lieferprozess, da dieser für die mit dem Bestand sicherzustellende Materialverfügbarkeit verantwortlich ist. Der verbindende Materialfluss wird mit zwei Pfeilen dargestellt; das Nachfüllen durch den Lieferprozess mit einem nach jeweiliger Fertigstellung in das Lager ‚schiebenden' *geraden Pfeil*; die Entnahme durch den Kundenprozess mit einem nach Bedarf aus dem Regal ‚ziehenden' *kreisförmig gebogenen Pfeil*. Im Englischen spricht man daher vom ‚replenishment pull system'. Ausgelöst durch eine bedarfsgerecht ziehende Entnahme wird der Lagerbestand verbrauchsbezogen nachgefüllt.

Der Materialfluss zwischen den Prozessen wird durch Kanban geregelt. Ein Kanban wird symbolisiert als Rechteck mit abgeschnittener rechter oberer Ecke (Abb. 3.31). Jedes Kanban bezieht sich auf eine Bestelleinheit, die in das Kanban-Symbol einzutragen ist. Ein gestrichelter Pfeil zeigt an, von wo nach wo der vom Kanban übermittelte Steuerimpuls fließt. Im Standardfall sind zwei Kanban-Typen erforderlich. Das *Entnahme-Kanban* löst den Transport eines Behälters vom Supermarkt-Lager zum Kundenprozess aus. Das *Produktions-Kanban* löst beim Lieferprozess die Produktion von Teilen aus, die im Supermarkt-Bestand durch die vorherige Entnahme fehlen. Zur Unterscheidung wird das Symbol des Entnahme-Kanban schraffiert.

Beim Lieferprozess wird in der Reihenfolge des Eintreffens der Produktions-Kanban nachproduziert, die der Reihenfolge der Entnahme entspricht. Damit entspricht die *Losgröße* der Kanban-Menge. Die unterschiedlichen Varianten werden in beliebiger, dem Verbrauch entsprechender Reihenfolge beim Lieferprozess produziert. Um konstante Wiederbeschaffungszeiten zu gewährleisten, dürfen sie nicht umsortiert werden, um etwa die Losgröße zu vergrößern. Der Kundenprozess erhält die Teile in der gleichen Losgröße, in der nachproduziert wird, aus dem

Supermarkt-Lager bereitgestellt. Er kann somit auch in Einzelstückfertigung übergehen, sofern alle Varianten vor Ort bereitgestellt sind. Diese Bereitstellung kann zusätzlich zum Supermarkt-Lager in jeweils maximal einer Kanban-Menge erfolgen; oder das Supermarkt-Lager übernimmt zugleich die Bereitstellfunktion.

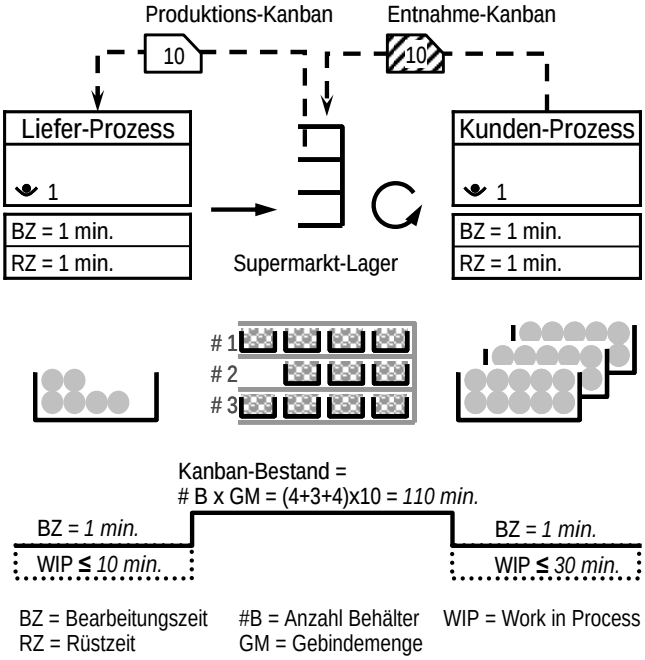


Abb. 3.31. Kanban-Regelung

Jedes Kanban bezieht sich normalerweise auf genau einen *Behälter*. Die *Gebindemenge* entspricht demnach der Kanban-Menge. Verwendet werden nach Möglichkeit Behälter mit Standardmaßen, die gegebenenfalls mit unterschiedlichen Einsätzen für viele verschiedene Teilevarianten eingesetzt werden können. Für jede Sachnummer darf es nur einen Behältertyp geben. Die Behälter sollten für den Kundenprozess gut handhabbar gestaltet sein und eine direkte Bereitstellung am Verbrauchsort ermöglichen. Die Qualität der Teile bei Transport und Lagerung ist zu schützen (Sauberkeit, Korrosion, Abrieb). Je nach Teilegeometrie können natürlich auch Paletten, Gitterboxen oder Rollwägen die Behälterfunktion übernehmen. Durch die einheitliche Verwendung definierter, teilespezifischer Gebindemengen erreicht man eine hohe Standardisierung der Abläufe. Die Gebindemenge sollte zudem mit der Freigabemenge der Aufträge abgestimmt sein (Abschn. 3.4.1).

Bestände Im *Datenkasten* zum Supermarkt-Lager gibt man neben dem Lagerort alle wichtigen Bezeichnungen für Lager, Material und Behältertyp an (Abb. 3.32). Die Anzahl der Varianten (# Var) gibt die Zahl der entsprechend bezeichneten Fächer im Supermarkt-Lager wieder. Die Kanban-Logik lässt keine chaotische Lagerung zu, sondern erfordert fix zugeordnete Lagerplätze entsprechend des Maximalbestandes. Dieser wird mit der Anzahl der Kanban-Behälter (# B) wiedergegeben. Über Jahresbedarf und Teilebedarf je Produkt (# T) kann die Lagerreichweite (RW) genauso wie beim Vorratslager errechnet werden (Gl. 2.12).

Bezeichnungen, Namen, Orte	
# Var	Anzahl Kanban-Teile
# B	Anzahl Kanban-Behälter
# T	Teile je Produkt
RW	Reichweite

Abb. 3.32. Datenkasten für das Supermarkt-Lager

Die im Supermarkt jeweils gelagerte Menge kann variantenabhängig unterschiedlich festgelegt sein – und zwar ausschließlich als ein ganzzahliges Vielfaches der jeweiligen Gebindemenge. So stimmen die Anzahl der Kanban und die Anzahl der im Regelkreis befindlichen Behälter überein. Im Zahlenbeispiel sind drei Varianten mit einmal drei und zweimal vier Behältern à zehn Stück vorrätig (Abb. 3.31). Hinzu kommen ein Behälter in Nachproduktion und weitere, beim Kundenprozess bereitgestellte Behälter. Je nach Ausgestaltung des Produktionsablaufes kann dies unterschiedlich sein. Im Zahlenbeispiel sind alle drei Varianten bereitgestellt. Würde der Kundenprozess auch in Losen arbeiten, müsste jeweils nur ein Behälter bereitgestellt sein. Die *Durchlaufzeit* nun für ein Teil entspricht in vereinfachter Betrachtung dem Bestand im Supermarkt-Lager, also der Lagerreichweite. Im Zahlenbeispiel sind dies 110 Minuten. Bei genauerer Betrachtung müssen noch die bereitgestellten Behälter sowie das in Arbeit befindliche Kanban-Los berücksichtigt werden. Dadurch steigt die Durchlaufzeit in Abhängigkeit von der im Zahlenbeispiel gewählten Bereitstelllogik auf insgesamt 150 Minuten an.

Für eine einfache *Dimensionierung* des Kanban-Systems empfiehlt sich ein Vorgehen durch Ausprobieren. Für die Anfangsauslegung trifft man zunächst eher großzügige Annahmen, um auf der sicheren Seite gegenüber Materialflussabrissen zu sein. Der Bestand kann dann noch recht hoch ausfallen. Nach Einführung senkt man den relativ hohen Umlaufbestand an Karten und damit auch Material schrittweise durch Entfernen einzelner

Karten kontinuierlich, bis die ersten Störungen in der Materialverfügbarkeit auftreten. Wenn das geschieht prüft man, ob der Ablauf verbessert werden kann – oder fügt wieder eine Karte hinzu.

Ungleichmäßiger Bedarf Bei Teilen mit sehr starken Bedarfsschwankungen und mittleren bis großen Stückzahlen ist eine adäquate Supermarkt-Auslegung nicht möglich, da man entweder riesige Bestände erhält oder im Bedarfsfall nur teilweise lieferfähig ist, da der Bestand unter der maximalen Bestellmenge liegt. Auch eine prognoseorientierte Produktionsplanung würde sich schwer tun, solche extremen Schwankungen zuverlässig vorauszusehen. Typische Beispiele für diese Fälle sind Jahresbestellungen von Auslandsniederlassungen, Großaufträge von einzelnen Kunden zu besonderen Konditionen sowie saisonal angebotene oder besonders beworbene Erzeugnisse.

Diese Fälle lassen sich als Sonderaufträge mit *Sonder-Kanban* abwickeln. Ein Sonder-Kanban darf nur einmal verwendet werden und muss besonders gekennzeichnet sein, beispielsweise durch eine andere Farbe oder einen im Hintergrund aufgedruckten Querbalken. Großaufträge werden in Gebindemengen aufgeteilt. Für jede Teilmenge wird ein Sonder-Kanban erstellt und in die Produktion eingesteuert. Durch die Aufteilung erhöht sich natürlich die Lieferzeit gegenüber kleinen Bestellmengen. Im Vorgriff auf erwartete, aber noch nicht erfolgte Jahresbestellungen oder erwartete vorübergehende Absatzsteigerungen durch Werbeeffekte kann mit Hilfe von Sonder-Kanban sogar prognoseorientiert vorgearbeitet werden. Ähnlich lassen sich saisonale Kanban definieren und einsteuern. Dadurch wäre dann eine Anpassung der Lieferzeit vermieden. Das Kanban-System kann also durchaus sehr flexibel genutzt werden.

Um tendenzielle Entwicklungen im Kundenbedarf zu berücksichtigen (Abb. 2.10, Fälle B), muss das Kanban-System *gepflegt* werden. So sind die Anzahl der im Umlauf befindlichen Kanban regelmäßig (beispielsweise monatlich) zu überprüfen. Bei wachsenden Märkten muss die Kartenanzahl immer wieder erhöht werden, weil es andernfalls zum Materialflussabriss kommen würde. In schrumpfenden Märkten hingegen steigt die Lagerreichweite, wenn keine Karten aus dem Kreislauf entfernt werden. Um die Bestandsreichweite konstant zu halten, müssen hier schrittweise einzelne Karten entfernt werden.

Kanban-Regeln:

1. Produziert wird ausschließlich bei Vorliegen eines Produktions-Kanban in der jeweils angegebenen Losgröße.
2. Es wird in der Reihenfolge der Entnahme durch den Kundenprozess produziert, sofern nicht andere Prioritätsregeln definiert sind.
3. Jeder gefüllte Behälter muss mit einem Kanban versehen sein.
4. Kanban-Behälter werden nur an festgelegten und adressierten Plätzen abgestellt.
5. Der Logistiker übernimmt den Transport von Material und Kanban nach festem Fahrplan auf vorgegebener Route.
6. Die Anzahl der im Umlauf befindlichen Kanban ist regelmäßig (monatlich) zu überprüfen.

Besondere Kanban-Merkmale:

1. Eine Anhäufung von Kanban vor einem Produktionsprozess zeigt, dass er zu langsam arbeitet.
2. Im Unterschied zur FIFO-Verkopplung führen Qualitätsmängel an Einzelteilen nicht zur Störung des gesamten Produktionsablaufes, da durch die Austauschbarkeit der Teile eine gesonderte Nachlieferung nicht erforderlich ist.

Materiallogistik Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, die dargestellte Regelungslogik mit den zwei Steuerimpulsen zu realisieren. Die gewissermaßen klassische Lösung verwendet beide Kanban-Typen, realisiert als laminierte Pappkarten, die zwischen Produktionsprozessen und Supermarkt-Lager pendeln. Die Kanban enthalten alle für die Steuerung relevanten Informationen zu Material, Kundenprozess, Lieferprozess sowie Behältern und den Karten selbst. (Abb. 3.33). Beim Materialtransport sind sie dem Behälter beigefügt. Die Karten als *Informationsträger* werden vor allem auch deshalb benötigt, weil Produktions- und Transportaufgaben strikt getrennt sind, um jede dieser Tätigkeiten für sich optimieren zu können.

Die Informationsübergabe vom Produktionsmitarbeiter an den Logistiker erfolgt mit Hilfe der Karten. Sobald der Mitarbeiter des Kundenprozesses das erste Teil aus einem bereits bereitgestellten Behälter entnimmt, legt er das zugehörige Kanban für den Logistiker bereit. Dieser kommt an allen Arbeitsplätzen, die er mit Material zu versorgen hat, regelmäßig nach einem festen *Fahrplan* auf vorgegebener Route vorbei und sammelt die bereitgelegten Entnahme-Kanban ein. Damit nicht zu viel Material beim Kundenprozess liegt, sollte die Gebindemenge so gewählt sein, dass die Behälterreichweite etwa eine Schicht beträgt. Die angestrebte Behälterreichweite macht eine Transportzykluszeit von unter einer bis maximal zwei Stunden erforderlich.

1 Entnahme-Kanban

Supermarkt-Lager	*Teile-Informationen*	*Verbrauchsort*
• Lagerplatz • Lieferprozess	• Teile-Identnummer • Teile-Bezeichnung • Teile-Skizze • Behälter-Bez. • Teile-Anzahl je Behälter	• Name und Ort Kundenprozess • Arbeitsplatz • Bereitstellplatz
Karten-Nummer (Gesamtzahl)		9 34 0199 289477

2 Produktions-Kanban

Supermarkt-Lager	*Teile-Informationen*	*Produktions-Prozess*
• Lagerplatz • Kundenprozess	• Teile-Identnummer • Teile-Bezeichnung • Teile-Skizze • Behälter-Bez. • Teile-Anzahl je Behälter	• Name und Ort Lieferprozess • Arbeitsplan-Nummer • Rohmaterial
Karten-Nummer (Gesamtzahl)		9 34 0199 289477

Abb. 3.33. Informationen auf Entnahme- und Produktions-Kanban

Wie mit einer Einkaufsliste versehen, entnimmt der Logistiker anschließend dem Supermarkt Behälter mit den angeforderten Teilen, entfernt das im oder am Behälter befindliche Produktions-Kanban und legt stattdessen das mitgebrachte Entnahme-Kanban bei. Die so entnommenen Behälter transportiert der Logistiker nun an den Verbrauchsort, wo er wiederum neue Entnahme-Kanban einsammelt. Es werden also immer *gemischte Transporte* durchgeführt. Die im Supermarkt-Lager bereitgelegten Produktions-Kanban werden wiederum von einem Logistiker zum Lieferprozess gebracht und dienen dort als Produktionsanweisung. Nach Fertigstellung werden die gefüllten Behälter zusammen mit dem Produktions-Kanban in das Supermarkt-Lager gebracht. Damit ist der Zyklus geschlossen.

Für die Materiallogistik werden die Kanban nicht unbedingt als physische Karten benötigt. Der gesamte Ablauf ist auch mit Hilfe elektronischer Datenübermittlung als ‚Faxban' oder nach Scannerbuchung als ‚e-ban' realisierbar. Auch ohne EDV sind je nach den spezifischen Gegebenheiten Vereinfachungen möglich. Wenn beispielsweise der Lieferantenprozess den Supermarkt und damit alle Materialentnahmen direkt sehen kann, kann er auf Sicht arbeiten und einfach leere, mit Materialnummern versehene

Lagerplätze wieder auffüllen. Produktions-Kanban sind dann nicht erforderlich. Liegt der Supermarkt in der Nähe des Kundenprozesses, kann eventuell das Entnahme-Kanban entfallen. Falls es nur einen Verbrauchsort gibt, könnte sogar der Supermarkt in der Bereitstellfläche des Kundenprozesses aufgehen. Sehr praktikabel ist häufig das *Behälter-Kanban*. Hierbei übernimmt das Leergut die Funktionen von Entnahme- und Produktions-Kanban. Die zurückkommenden, leeren Behälter sind mit allen für die Steuerung relevanten Informationen versehen und lösen so die Nachproduktion aus. Das Problem der Leergutrückführung wird damit gleichzeitig gelöst.

Auslegung des Produktions-Kanban

Zur Auslegung des Kanban-Systems müssen der maximale Supermarkt-Bestand und daraus die Anzahl der benötigten Karten ermittelt werden. Dafür gibt es eine einfache *Berechnungsformel* aus drei Summanden mit nicht immer leicht zu ermittelnden Faktoren. Der Supermarkt-Bestand setzt sich demnach zusammen aus dem Umlaufbestand, einem Pufferbestand für Bedarfsschwankungen sowie einem Sicherheitsbestand zum Ausgleich von Störungen und Qualitätsproblemen (Gl. 3.4). Diese drei Anteile des Bestandes sollen im Folgenden näher beleuchtet werden.

Wiederbeschaffung Der *Umlaufbestand* soll den Durchschnittsverbrauch während der Nachproduktion abdecken. Er ergibt sich aus dem Produkt von Wiederbeschaffungszeit in Tagen und durchschnittlichem Tagesverbrauch (Gl. 3.3). Der Tagesverbrauch wiederum wird errechnet aus der täglichen Arbeitszeit und dem Kundentakt, der gegebenenfalls berücksichtigt, dass mehrere Teile pro Produkt benötigt werden. Schwierig abzuschätzen ist hier nun die Wiederbeschaffungszeit.

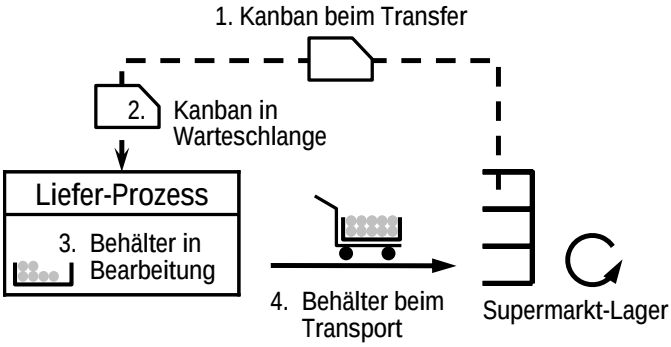


Abb. 3.34. Zyklus bei der Wiederbeschaffung

Die Wiederbeschaffungszeit setzt sich aus vier Komponenten zusammen, der Transferzeit des Kanban vom Supermarkt zum Lieferprozess, der Wartezeit des Kanban vor dem Lieferprozess, der Bearbeitungsdauer eines Loses und der Transportzeit (Abb. 3.34). Bei günstigen Bedingungen ist die *Transportzykluszeit* des Logistikers in der Lieferprozessschleife ausschlaggebend für die Wiederbeschaffungszeit. Man kann sich vorstellen, dass pro Rundgang des Logistikers die Wiederbeschaffung um einen Schritt voranschreitet. Im ersten Zyklus bringt der Logistiker das Produktions-Kanban zum Lieferprozess. Während des zweiten Zyklus befindet sich die Karte in der Warteschlange, aufgesteckt auf eine Kanban-Tafel vor dem Lieferprozess, im dritten Zyklus werden die Teile in Kanban-Menge nachproduziert und im vierten Zyklus werden die gefüllten Behälter ins Supermarkt-Lager gebracht. Vereinfacht lässt sich damit der erforderliche Umlaufbestand (WIP) abschätzen zu:

$$WIP = WBZ \times \left(\frac{AZ}{KT}\right) = (4 \times TZ) \times \left(\frac{AZ}{KT}\right) \tag{3.3}$$

mit: WIP Work in Process = Umlaufbestand [Stck.]
WBZ Wiederbeschaffungszeit [d]
AZ tägliche Arbeitszeit [min.]
KT Kundentakt [min./Stck.]
TZ Transportzykluszeit [h]

Da hier ausschließlich von kleinen Losgrößen die Rede ist, kann für die Abschätzung angenommen werden, dass der Transportzyklus deutlich größer als die Bearbeitungszeit für ein Kanban-Los beim Lieferprozess ist. Der Logistiker transportiert also immer mehrere Behälter gleichzeitig. Pro Zyklus müssen dann auch immer mehrerer Lose nachproduziert werden. Die zu überprüfende Größe ist hier vor allem die Länge der *Warteschlange*, die auch deutlich größer sein kann. Dadurch würde sich die Wiederbeschaffungszeit entsprechend erhöhen. Sofern die Produktionsprozesse gut aufeinander abgestimmt sind und die Kanban ein einheitliches Zeitintervall umfassen, sollte das jedoch nicht erforderlich sein, um die Produktion gleichmäßig am Laufen zu halten.

Bedarfsschwankungen Der *Pufferbestand* dient dem Ausgleich von Bedarfsschwankungen des Folgeprozesses. Handelt es sich um ein Fertigwaren-Supermarkt-Lager, dann dient er zum Ausgleich von Kundenbedarfsschwankungen und muss entsprechend hoch angesetzt werden (Abschn. 3.4.1). Befindet sich das Supermarkt-Lager jedoch – wie hier untersucht – innerhalb der Produktion, dann sollten die beiden verknüpften Prozesse in der Regel kapazitativ aufeinander abgestimmt sein. Eine Volumenschwankung des Gesamtbedarfs tritt dann nicht auf. Wohl aber ist eine Schwan-

kung durch einen unterschiedlichen Variantenmix möglich. Dadurch wird eine Teilevariante häufiger nachgefragt, als es im Durchschnitt zu erwarten ist. Um diese Schwankung möglichst niedrig zu halten, muss das Planungskonzept sicherstellen, dass der erhöhte Bedarf im Produktionsmix möglichst gleichmäßig verteilt wird (Abschn. 3.4.2). Ganz ‚wegplanen' lässt sich die Schwankung aber nicht und sollte daher als prozentualer Aufschlag berücksichtigt werden. Um auch bei seltenen Varianten keinen Materialflussabriss zu riskieren, benötigt man jeweils mindestens zwei Kanban, damit während der Wiederbeschaffung im zweiten Behälter noch bereitgestellte Teile verfügbar sind.

Störungen Der *Sicherheitsbestand* dient dem Ausgleich von Schwankungen der Wiederbeschaffungszeit auf Grund von Störungen sowie dem Mengenausgleich bei einer erhöhten Ausschussrate. Relevant ist hier weniger – wie oftmals angegeben – der prozentuale Anteil, der für die Kapazitätsauslegung berücksichtigt wird. Vielmehr ist die Dauer der Störungen mit Produktionsausfall beziehungsweise die Bearbeitungszeit für die maximale Menge der nachzuproduzierenden Ausschussteile ausschlaggebend. Beides verlängert die Wartezeit für die Folgeaufträge um eben diese Zeitdauern. Festzulegen ist demnach die angestrebte zusätzliche Bestandsreichweite, die über den Kundentakt in einen Bestand umzurechen ist.

Für den *maximalen Supermarkt-Bestand* ergibt sich durch Summierung der zuvor betrachteten Einzelaspekte:

$$B_{max} = WIP + PB + SB = (4 \times TZ) \times \left(\frac{AZ}{KT}\right) \times (1 + OX) + \left(\frac{RW_{SB}}{KT}\right) \tag{3.4}$$

mit:
- B_{max} maximalen Supermarkt-Bestand [Stck.]
- WIP Work in Process = Umlaufbestand [Stck.]
- PB Pufferbestand [Stck.]
- SB Sicherheitsbestand [Stck.]
- TZ Transportzykluszeit [min.]
- AZ tägliche Arbeitszeit [min.]
- KT Kundentakt [min./Stck.]
- OX Produktionsmix [%]
- RW_{SB} Reichweite Sicherheitsbestand [min.]

Um nun die benötigte Anzahl Kanban zu ermitteln, muss dieser Bestand noch den Varianten entsprechend ihres jeweiligen prozentualen Stückzahlanteils zugewiesen werden. Die *Anzahl Kanban je Variante* ergibt sich dann durch Division mit der jeweiligen, gegebenenfalls variantenspezifischen Gebindemenge, wobei das Ergebnis aufzurunden ist.

$$\#Kanban = \text{Aufrunden}\left[\frac{B_{max}}{GM_{Var}} \times \frac{Stck_{Var}}{Stck}\right] \tag{3.5}$$

mit: B_{max} maximalen Supermarkt-Bestand [Stck.]
GM_{Var} Gebindemenge der Variante [Stck.]
Stck Jahresstückzahl [Stck.]
$Stck_{Var}$ Jahresstückzahl der Variante [Stck.]

So lässt sich dann die erforderlichen Anzahl Kanban für jede Variante errechnen. Es empfiehlt sich jedoch, entsprechend der sechsten Kanban-Regel dieses Berechnungsergebnis im Fabrikbetrieb kontinuierlich zu überwachen.

Signal-Kanban

Bei der gewöhnlichen Kanban-Regelung produziert der Lieferprozess in der gleichen Losgröße, in der der Kundenprozess Teile aus dem Supermarkt-Lager entnimmt. Die Losgrößen entsprechen der jeweiligen variantenabhängigen Gebindemenge und sind vergleichsweise klein, setzen also geringe Rüstzeiten voraus. Werden nun aber Produktionsprozesse mit vergleichsweise großen Rüstzeiten an Prozesse mit kleineren Rüstzeiten angebunden, dann ist diese Einheitlichkeit der Losgrößen nicht mehr sinnvoll. Entweder muss der Lieferprozess dann zeitanteilig zu viel rüsten oder der Kundenprozess muss in deutlich größeren Losen arbeiten, als es erforderlich ist. Damit steigen die Bestände und der Kundenprozess wird unflexibler. Dieses Abstimmungsproblem lässt sich sehr einfach lösen, indem man mehrere Produktions-Kanban sammelt, bevor man sie als ein Los dem Lieferprozess zur Nachproduktion übergibt. Dieses Vorgehen nennt man *Signal-Kanban*.

Funktionslogik Das Signal-Kanban wird mit einem auf der Spitze stehenden Dreieck symbolisiert, das das entsprechende Produktions-Kanban ersetzt (Abb. 3.35). Im Dreieck wird die *Losgröße der Kanban* eingetragen – im Zahlenbeispiel steht ein Signal-Kanban für neun Produktions-Kanban à zehn Stück; die Losgröße im Lieferprozess beträgt also 90 Stück. Immer wenn sich neun Entnahme-Kanban einer Variante angesammelt haben, wird beim Lieferprozess ein Los nachbestellt. Der übrige Ablauf sowie die zugehörige Symbolik entsprechen dem Produktions-Kanban.

Durch die größeren Lose steigen nun auch die Bestände deutlich an. Das Supermarkt-Lager muss die großen Lose aufnehmen, die zuzüglich eines Sicherheitsbestandes die maximale Lagerfüllung bestimmen. Die *Durchlaufzeit* für ein Teil liegt nun im Zahlenbeispiel bei sieben Stunden – errechnet aus neunzig plus zehn Minuten für die beiden in Arbeit befindlichen Lose zuzüglich des Supermarkt-Bestandes von 320 Minuten.

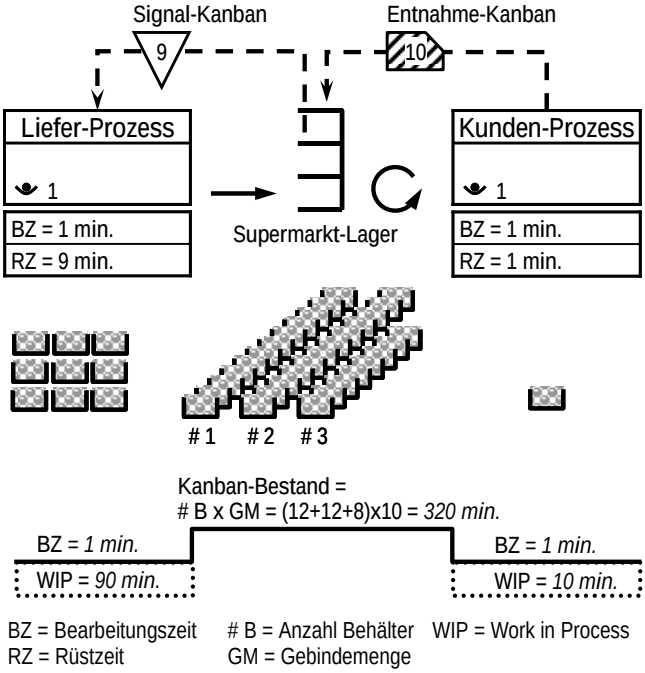


Abb. 3.35. Signal-Kanban

Dreiecks-Kanban Das Signal-Kanban wurde ursprünglich eingesetzt als ein Blatt, das schräg derart auf einem Behälter liegt, dass eine Ecke wie ein Dreieck aus dem Behälterstapel herausschaut (Abb. 3.36). Daher resultieren auch das Symbol und die Bezeichnung ‚Dreiecks-Kanban'. Durch die behälterweise Entnahme vom Stapel sinkt der Bestand jeder Variante schrittweise ab, bis der Behälter mit dem Signal-Kanban erreicht ist. Dies ist der *Bestellpunkt*, an dem die Nachproduktion angetriggert wird, indem das Signal-Kanban zum Lieferprozess gebracht wird. Der Bestellpunkt muss so gewählt werden, dass der im Supermarkt-Lager noch verbliebene Restbestand, der sich jeweils unter dem Behälter mit dem Signal-Kanban befindet, den Bedarf bis zum Eintreffen des nachproduzierten Loses in etwa abdeckt. Der Restbestand sollte höher liegen als der durchschnittliche Verbrauch während der Wiederbeschaffungszeit, damit Bedarfsschwankungen und Lieferstörungen aufgefangen werden können. Neben dem Umlaufbestand sind also Puffer- und Sicherheitsbestände vorzusehen.

Beim Lieferprozess werden die Signal-Kanban in der Reihenfolge ihres Eintreffens an der Signal-Kanban-Tafel angehängt. Um *Reihenfolgevertauschungen* zu vermeiden, kann man zusätzlich noch den Zeitpunkt der

Auslösung abwischbar auf der Karte notieren. Auf der Signal-Kanban-Tafel darf die Reihenfolge der Lose etwa zur Rüstoptimierung keinesfalls geändert werden, da sonst die Wiederbeschaffungszeiten unvorhersehbar schwanken würden. Daraus würde wiederum ein Materialflussabriss folgen oder zu dessen Vermeidung ein höherer Sicherheitsbestand erforderlich sein.

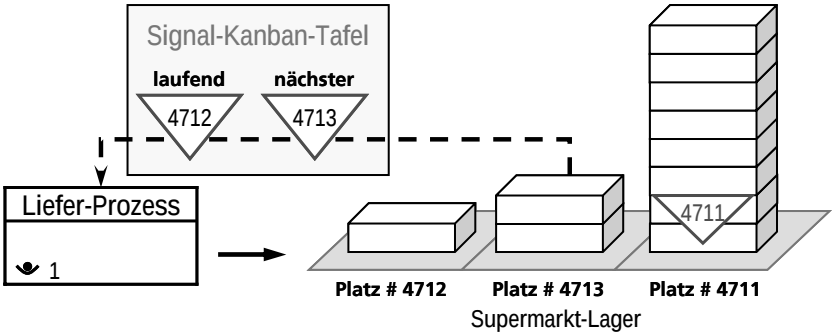


Abb. 3.36. Anwendung des Dreiecks-Kanban mit einer Signal-Kanban-Tafel

Das Dreiecks-Kanban ist ein *Auftragspapier*, das alle wichtigen Informationen zu Material, Lieferprozess und Bestellabwicklung enthält. Für die Bestellabwicklung ist die Angabe von Bestellpunkt und Losgröße erforderlich. Materialinformationen betreffen die Teile-Identnummer, die Materialbezeichnung und den Lagerplatz im Supermarkt-Lager. Für den Lieferprozess können Arbeitsplannummer, Maschinennummer, Werkzeugnummer oder auch Lagerplatz des Werkzeugs angegeben sein. Für jede Teile-Identnummer gibt es genau ein Signal-Kanban. Damit ist eine weitere Zusammenfassung von Losen ausgeschlossen. Das Dreiecks-Kanban lässt sich natürlich in analoger Weise auch elektronisch in Steuerungssoftware implementieren. Datenauswertungen erleichtern dann die Überwachung der Auslegung von Bestellmengen und Bestellpunkt.

Kanban in Losen Eine alternative Umsetzung des Signal-Kanban bietet die *Steuerungstafel*, an der Kanban gesammelt und zu Losen zusammengefasst werden. Die einzeln eintreffenden Kanban werden nach Teile-Identnummern sortiert von links nach rechts an die Steuerungstafel gesteckt (Abb. 3.37). An der Tafel gibt es für jede im Kreislauf befindliche Karte ein Feld. Bei Varianten mit weniger Kanban sind also einige Felder an der rechteckigen Tafel zu streichen. Die Felder werden nun den drei Zonen ‚grün', ‚gelb' und ‚rot', die die jeweilige Dringlichkeit der Abarbeitung symbolisieren, zugeordnet.

Identnr.	grün				gelb		rot
4711	10	10	10	10	10	10	
4712		10	10	10			
4713		10					
4714							
4715		10	10	10	10		
4716	10	10	10				
4717	10						
4718	10	10	10	10			
4719			10	10	10		

Abb. 3.37. Steuerungstafel für eine Kanban-Fertigung in Losen

Ist nun die Anzahl der zurückgekommenen Kanban kleiner als für das nachproduzierende Los erforderlich, hängen sie noch im grünen Bereich und das entsprechende Material darf nicht produziert werden. Nach Überschreiten der Grenze für die *Mindestbestellmenge* hängt die zuletzt angekommene Karte im gelben Bereich. Ab jetzt kann nachproduziert werden – und zwar alle bisher vorhandenen Kanban in einem Los. Im Bildbeispiel dürfen also die Teile 4711, 4715 und 4719 nachproduziert werden. Je nach der Anzahl gefüllter gelber Felder und Dringlichkeiten der anderen Teile kann der Werker mit der Nachproduktion noch abwarten – spätestens bis die erste Karte den roten Bereich erreicht. Dann ist es eigentlich schon zu spät, da der Sicherheitsbestand angebrochen worden ist. Dieser Fall sollte nur bei Störungen auftreten – die Nachproduktion wird nun zum Eilauftrag. Dieses Verfahren führt je nach Anzahl der gelben Felder zu unterschiedlichen Losgrößen für das gleiche Teil. Außerdem hängt die Reihenfolge auch von Prioritätssetzungen des Mitarbeiters ab. Beides kann die Flexibilität positiv erhöhen und erlaubt lokale Rüstoptimierungen. Dies senkt aber den Grad der Standardisierung und damit auch der Vorhersagbarkeit des Verhaltens des Kanban-Systems.

Losgrößenermittlung beim Signal-Kanban

Rüstportfolio Ein zentraler Unterschied bei der Zielsetzung der Kanban-Regelung gegenüber einer nach Produktionsplan gesteuerten Produktion ist die Erhöhung der *Rüsthäufigkeit.* Das Rüstportfolio zeigt die vier möglichen Zielgrößen und Maßnahmen bei der Realisierung von Kanban (Abb. 3.38). Die Steuerung nach Produktionsplan ermittelt bei eher hohen Rüstzeiten mit Hilfe von Losgrößenformeln hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit

optimierte Losgrößen. Bei kurzen Rüstzeiten drängt sich aus Kostengründen das Ziel hoher Auslastung in den Vordergrund. Die Ressourcen werden tendenziell so ausgelegt, dass fürs Rüsten wenig Zeit bleibt und daher große Lose gefahren werden müssen.

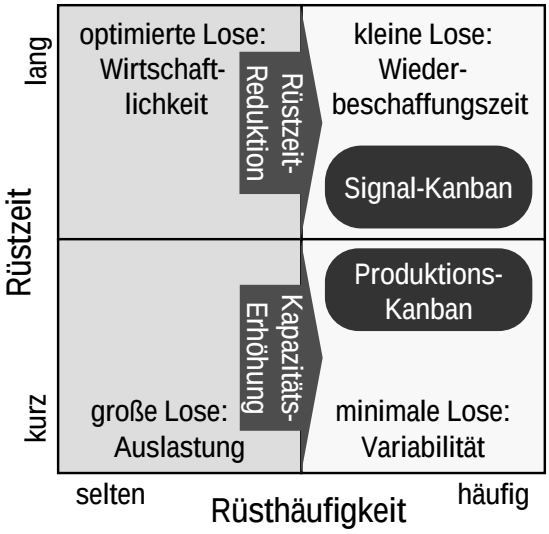


Abb. 3.38. Rüstportfolio

Mit der Kanban-Regelung werden die beiden anderen Zielgrößen verfolgt. Für das Produktions-Kanban sind minimale, an der Behältergröße orientierte Losgrößen ausschlaggebend, um ein Maximum an Flexibilität beim Variantenmix zu erreichen. Dazu wird auch bei kurzen Rüstzeiten eine ausreichend hohe Kapazitätsausstattung benötigt. Damit die kleinen Losgrößen auch bestandssenkend wirksam werden können, sind zudem Bedarfsschwankungen durch Kapazitätsflexibilität abzudecken, was eine Auslastungsmaximierung nicht erlaubt. Gegenüber einer prognoseorientierten Produktionssteuerung ist also eine *Kapazitätserhöhung* notwendig. Beim Signal-Kanban sind hingegen Maßnahmen der *Rüstzeitreduktion* von zentraler Bedeutung, um bei wirtschaftlichen Rüstaufwänden eine deutliche Reduktion der Wiederbeschaffungszeit von Teilen zu erreichen. Die Senkung des Rüstzeitanteils steht dabei nicht im Vordergrund.

EPEI-Wert Gut geeignet zur Losgrößenermittlung in Kanban-Systemen bei vorgegebenem *Rüstzeitanteil* ist der EPEI-Wert (Every Part Every Interval). Der EPEI-Wert gibt an, welchen Zeitraum ein Produktionsprozess benötigt, um alle Varianten in genau einem Los zu produzieren (Abschn. 2.3.1). Bei dieser Betrachtungsweise wird die Verringerung von Rüstzeiten

nicht zur Minimierung des Rüstzeitanteils genutzt, sondern methodisch bedingt in eine Reduktion der Losgrößen soweit kapazitativ möglich umgesetzt. Für den Rüstzeitanteil wird ein Wert von etwa zehn Prozent angestrebt, was erfahrungsgemäß meist einen guten Kompromiss zwischen Rüstaufwands- und Durchlaufzeitminimierung ergibt.

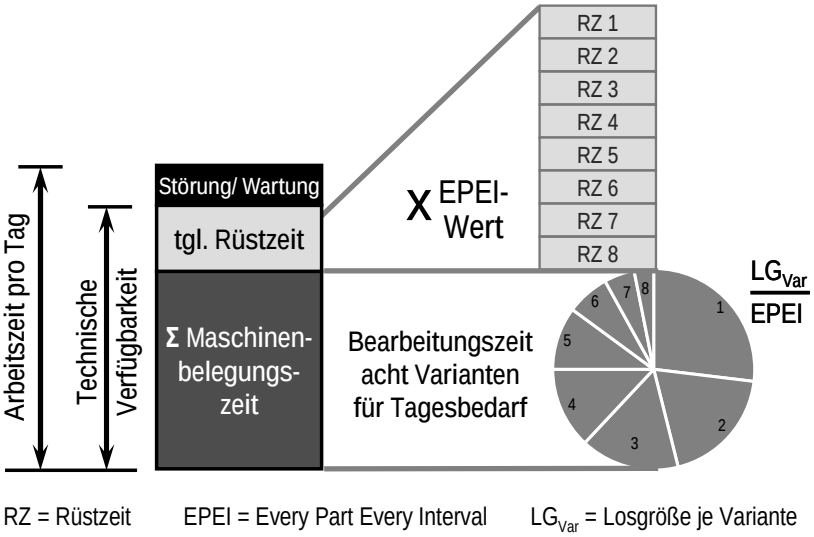


Abb. 3.39. Modell zur Berechnung des EPEI-Wertes

Bei der *Losgrößenermittlung* wird nun davon ausgegangen, dass ein Betriebsmittel während seiner gesamten verfügbaren Laufzeit genutzt wird – entweder zum Produzieren oder zum Rüsten. Damit geht man den umgekehrten Weg wie üblich. Zuerst setzt man die geplante Auslastung auf 100 Prozent, zieht dann die für den Tagesbedarf durchschnittlich benötigte Bearbeitungszeit ab und nutzt die verbleibende Zeit komplett zum Rüsten. Über diese Rüstzeit erhält man dann die Anzahl möglicher Rüstvorgänge pro Tag und über die Anzahl der Varianten dann den EPEI-Wert (Abb. 3.39). Der EPEI-Wert ist demnach der Quotient aus der Summe der Rüstzeiten, um jede Variante einmal einzurüsten, und der täglich fürs Rüsten zur Verfügung stehenden Zeitspanne (Gl. 3.6). Die Losgröße entspricht dann der Stückzahl einer Variante, die während der EPEI-Dauer durchschnittlich verbraucht werden.

Es sind also die beiden Zeitwerte der *Rüstzeitsumme* und der *täglichen Rüstzeit* zu ermitteln. Im Fall gleicher Rüstzeiten ist die Rüstzeitsumme gleich dem Produkt aus einzelner Rüstzeit und Anzahl der Varianten. Bei unterschiedlichen Rüstzeiten addiert man einfach die Einzelwerte. Die täg-

lich zum Rüsten verfügbare Zeit ergibt sich aus der Differenz von täglichem Kapazitätsangebot und der Maschinenbelegungszeit. Das Kapazitätsangebot berechnet man als Produkt der Arbeitszeit und der Anzahl alternativer Ressourcen. Durch Störungen und Wartung wird das Kapazitätsangebot auf den Prozentsatz der technischen Verfügbarkeit eingeschränkt. Die Maschinenbelegungszeit wiederum entspricht der Summe der Bearbeitungszeiten für alle Produktvarianten, die an einem Tag durchschnittlich benötigt werden. Damit ergibt sich zur Berechnung des EPEI-Wertes:

$$EPEI = \frac{\sum RZ}{\text{tgl.}\, RZ} = \frac{\#Var \times RZ}{(AZ \times \#Res) \times V - MBZ} = \frac{\#Var \times RZ}{(AZ \times \#Res) \times V - \sum_{i=1}^{i=\#Var} BZ_i \times \frac{Stck_i}{FT}} \tag{3.6}$$

mit:
- RZ Rüstzeit [h]
- # Var Anzahl Varianten
- AZ Arbeitszeit [h]
- # Res Anzahl Ressourcen
- V Verfügbarkeit [%]
- MBZ Maschinenbelegungszeit [h]
- BZ Bearbeitungszeit [h]
- Stck Jahresbedarf
- FT Fabriktage

Zahlenbeispiel Dies sei veranschaulicht an einem einfachen Zahlenbeispiel. Gegeben seien acht Varianten mit jeweils 1,5 Stunden Rüstzeit. Die Rüstzeitsumme beträgt also 12 Stunden. Der tägliche Durchschnittsbedarf liegt bei insgesamt 1.170 Stück bei einer Bearbeitungszeit von jeweils einheitlich einer Minute. Daraus ergibt sich ein täglicher Kapazitätsbedarf von 19,5 Stunden. Die Arbeitszeit im Dreischichtbetrieb beträgt ohne Pausen 22,5 Stunden. Nach Gleichung 3.6 ergibt sich ein EPEI-Wert von vier Tagen (Gl. 3.7).

$$EPEI = \frac{8 \times 1{,}5\,\text{h}}{22{,}5\,\text{h/d} - (1.170/\text{d} \times 1\,\text{min.})} = \frac{12\,\text{h}}{22{,}5\,\text{h/d} - 19{,}5\,\text{h/d}} = \frac{12\,\text{h}}{3\,\text{h/d}} = 4\,\text{d} \tag{3.7}$$

Noch nicht berücksichtigt in diesem Beispiel ist die eingeschränkte Verfügbarkeit. Nun ist keineswegs der EPEI-Wert durch die Verfügbarkeit zu dividieren, sondern es ist lediglich das Kapazitätsangebot entsprechend zu reduzieren. Dieser Zusammenhang hat einen dramatischen Einfluss auf den EPEI-Wert, da die prozentuale Reduktion komplett von der fürs Rüsten verfügbaren Zeit abgezogen werden muss. So führt im Zahlenbeispiel eine recht hohe Maschinenverfügbarkeit von 90 Prozent immerhin zur Vervierfachung des EPEI-Wertes auf 16 Tage (Gl. 3.8).

$$EPEI_V = \frac{8 \times 1{,}5\,\text{h}}{(22{,}5\,\text{h/d} \times 90\%) - (1.170/\text{d} \times 1\,\text{min})} = \frac{12\,\text{h}}{20{,}25\,\text{h/d} - 19{,}5\,\text{h/d}} = \frac{12}{0{,}75}\,\text{d} = 16\,\text{d} \quad (3.8)$$

Eine Verringerung des EPEI-Wertes erreicht man nun über die Rüstzeitreduzierung. Kann man sie im Zahlenbeispiel jeweils auf eine halbe Stunde dritteln, dann drittelt sich auch der EPEI auf 5,3 Tage.

Losgrößen Der EPEI-Wert entspricht nun der minimal erreichbaren Reichweite eines Loses. Die Losgröße jeder Variante ist mindestens so groß wie ihr jeweiliger Bedarf während der dem EPEI-Wert entsprechenden Zeitdauer. Richtet man sich streng nach dieser Berechnungsweise, dann erhält man die *variantenspezifische Losgröße* durch Multiplikation des jeweiligen Tagesbedarfs mit dem EPEI-Wert. Das hat den Vorteil, dass ausschließlich Lose mit gleicher Reichweite aufgelegt werden. Die Lose sind lediglich auf die sprungfixen Behältermengen abzustimmen.

Bei exotischen, selten benötigten Varianten kann jedoch der variantenbezogene Rüstzeitanteil extrem hoch liegen. In Fall *stückzahlarmer Varianten* empfiehlt es sich daher, mehrere Lose zusammenzufassen und sie nicht bei jedem Durchgang zu produzieren. Das erhöht zwar den Lagerbestand für die entsprechenden Varianten deutlich, bezogen auf die Gesamtstückzahl jedoch nur geringfügig, da es sich ja nur um den stückzahlniedrigen Bereich handelt. Im Zahlenbeispiel könnte man die Varianten 7 und 8 abwechselnd auflegen, so dass sie in Losgrößen mit doppelter Reichweite produziert werden.

Bestellauslösung beim Signal-Kanban

Der EPEI-Wert ist ausschlaggebend für die *Reichweite* des Supermarkt-Lagers hinter dem jeweiligen Produktionsprozess. Das Lager muss je Variante mindestens ein komplettes Los aufnehmen. Geht man vereinfachend von einem gleichmäßigen und über die Varianten gleichverteilten Verbrauch aus, dann befindet sich von jeder Variante durchschnittlich die halbe Losgröße am Lager. Die Reichweite des Supermarkt-Bestandes entspricht dann dem halben EPEI-Wert. Nun wird es Bedarfsschwankungen hinsichtlich Menge und Produktionsmix geben, die mit einem zusätzlichen Pufferbestand auszugleichen sind. Zur Abfederung von Lieferstörungen sind ferner Sicherheitsbestände je Variante vorzusehen. Beides erhöht die für einen ununterbrochenen Wertstrom erforderliche Lagerreichweite. Deren Dimensionierung erfolgt am besten im Zusammenhang mit der Ermittlung des Bestellpunktes für das Signal-Kanban.

Wenn der Bestand einer Teilevariante im Supermarkt eine bestimmte Menge unterschreitet, muss die Nachproduktion ausgelöst werden. Dieser

Bestellpunkt liegt mindestens in der Höhe des Bedarfs während der Wiederbeschaffungszeit dieser Variante beim Lieferprozess. Für Bedarfsschwankungen und Lieferstörungen sind zusätzlich Puffer- und Sicherheitsbestände vorzusehen. Wie schon bei der Bestandsermittlung beim Produktions-Kanban sind drei Faktoren zu addieren (vgl. Gl. 3.4). Allerdings wird hier nicht der Maximalbestand, sondern der Nachbestellbestand errechnet.

Die *Wiederbeschaffungszeit* einer Variante setzt sich zusammen aus der Transferzeit des Signal-Kanban, der Wartezeit vor dem Lieferprozess, der Bearbeitungsdauer eines Loses dieser Variante inklusive Rüstzeit sowie der Transportzeit zum Supermarkt-Lager. Vereinfachend kann man annehmen, dass Transport- und Transferzeiten im Vergleich zu den großen Losbearbeitungszeiten – und im Unterschied zur Berechnung beim Produktions-Kanban (Gl. 3.3) – vernachlässigbar klein sind. Es bleiben also zwei Summanden. Da die Losgrößen stark variantenabhängig gewählt sein können, wird aufgrund der berücksichtigten Bearbeitungsdauer auch die Wiederbeschaffungszeit variantenspezifisch. Die variantenspezifische Bearbeitungsdauer eines Loses ergibt sich aus der Summe von der Bearbeitungszeit für ein Los und der Rüstzeit. Um parallele Ressourcen zu berücksichtigen ist hier die Zykluszeit einzusetzen. Für die Warteschlange kann man im Idealfall eines gleichmäßigen Bedarfsverlaufs annehmen, dass sie einem soeben begonnenen Los der Variante mit maximaler Bearbeitungsdauer entspricht. Für die variantenbezogene Wiederbeschaffungszeit ergibt sich dann:

$$WBZ_{Var} = Max_{i=1}^{\#Var}\left[\left(ZZ_i \times LG_i\right) + RZ_i\right] + \left(ZZ_{Var} \times LG_{Var}\right) + RZ_{Var} \tag{3.9}$$

mit: WBZ_{Var} variantenbezogene Wiederbeschaffungszeit [h]
ZZ Zykluszeit [h]
LG Losgröße
RZ Rüstzeit [h]

Diese Formel kann nur als grobe Handreichung gesehen werden. Bei einer geringen Variantenanzahl sollte die Wiederbeschaffungszeit deutlich kleiner als, wie hier berechnet, zwei Losgrößen betragen. Die jeweilige Neubestellung wird dann allenfalls auf ein bereits angearbeitetes Los warten. Wenn die Teile des in Arbeit befindlichen Loses bereits in den Supermarkt nachgeliefert werden, bevor das Los fertig bearbeitet ist, dann bleibt vom zweiten Summanden lediglich die Bearbeitungszeit der ersten Transporteinheit übrig. Umgekehrt sollte man bei einer höheren Anzahl an Varianten davon ausgehen, dass die Warteschlange meist länger als ein Los sein wird. Der erste Summand in Gleichung 3.9 ist dann zu vergrößern, indem beispielsweise die beiden größten Lose angenommen werden. Bei ei-

nem gut ausgelegten Kanban-System sollten sich deutlich weniger als die Hälfte aller Varianten in der Warteschlange befinden.

Die Wiederbeschaffungszeit ist nun mit dem aus Arbeitszeit und Kundentakt ermittelten Tagesbedarf zu multiplizieren, um den entsprechenden Bestandswert zu erhalten. Puffer- und Sicherheitsbestand sind analog zum Produktions-Kanban (Gl. 3.4) auszulegen. Für den *variantenbezogenen Bestellbestand* im Supermarkt-Lager ergibt sich somit:

$$BB_{Var} = WBZ_{Var} \times \left(\frac{Stck_{Var}}{FT} \right) + PB + SB =$$

$$WBZ_{Var} \times \left(\frac{Stck_{Var}}{FT} \right) \times (1 + OX) + \left(\frac{RW_{SB}}{AZ} \times \frac{Stck_{Var}}{FT} \right) \tag{3.10}$$

mit:
- BB_{Var} variantenbezogener Bestellbestand [Stck.]
- WBZ_{Var} variantenbezogene Wiederbeschaffungszeit [h]
- PB Pufferbestand [Stck.]
- SB Sicherheitsbestand [Stck.]
- $Stck_{Var}$ Jahresbedarf einer Variante [Stck.]
- AZ tägliche Arbeitszeit [h]
- FT Fabriktage
- OX Produktionsmix [%]
- RW_{SB} Reichweite Sicherheitsbestand [h]

Unter Berücksichtigung des variantenabhängigen Jahresbedarfs sowie der Gebindemenge ergibt sich der *Bestellpunkt in Anzahl Behältern* analog zu Gleichung 3.5 wie folgt:

$$BP_{Var} = \text{AUFRUNDEN} \left[\frac{BB_{Var}}{GM_{Var}} \right] \tag{3.11}$$

mit:
- BP_{Var} Bestellpunkt einer Variante [Anzahl Behälter]
- BB_{Var} variantenbezogener Bestellbestand [Stck.]
- GM_{Var} Gebindemenge einer Variante [Stck.]

Die hier angegebenen Berechnungsformeln dienen hauptsächlich der Erstauslegung und Abschätzung der Mengen für einen Kanban-Regelkreis. Sie zeigen insbesondere die zu bedenkenden Einflussfaktoren auf. Dem Fabrikbetrieb ist dann die kontinuierliche Anpassung der zunächst ermittelten Werte zu überlassen.

Lieferanten-Kanban

Eine Kanban-Regelung eignet sich ebenfalls zur externen Beschaffung von Rohmaterial oder wiederholt bestellten Kaufteilen. In Abhängigkeit von

der Teileart gibt es zwei Möglichkeiten, die sich vor allem organisatorisch und kaufmännisch, kaum jedoch in logistischer Hinsicht unterscheiden. Die preisgünstigen C-Teile werden mit einem *C-Teile-Management* abgewickelt, das entsprechende Lieferanten am Markt als Komplettlösung anbieten. Für teurere, produktspezifische Teile, Baugruppen und in größeren Mengen zu beschaffende Rohmaterialien baut man in enger Kooperation mit dem jeweiligen Lieferanten ein *Lieferanten-Kanban* auf. Falls kundenspezifische Teile und Materialien beschafft werden müssen, ist eine Kanban-Lösung nicht möglich. Möglich ist dann die Abwicklung als Einzelbestellung oder die Bestellung Just in Sequence (Abschn. 3.3.1).

Kaufteile-Portfolio Kaufteile und Rohmaterial lassen sich in Abhängigkeit vom jeweiligen *Beschaffungsvolumen* – ausgedrückt in einer ABC-Klassifizierung – sowie der jeweiligen *Versorgungssicherheit* – ausgedrückt mit der Anzahl konkurrierender Anbieter am Markt – in einem Kaufteile-Portfolio anordnen (Abb. 3.40). Jedem Quadranten des Portfolios ist eine Standardstrategie des Einkaufs zugeordnet.

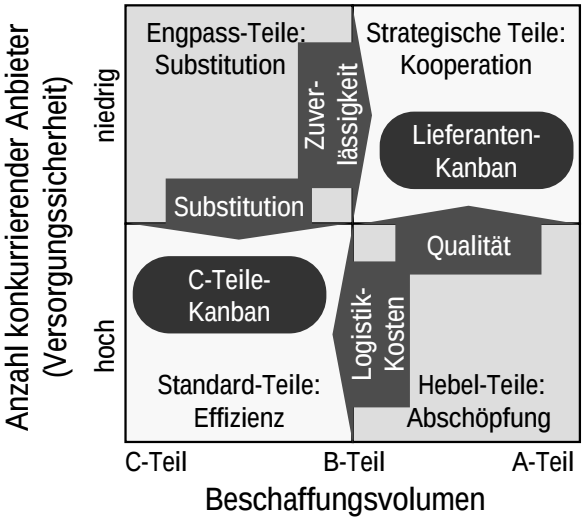


Abb. 3.40. Kaufteile-Portfolio

Standardteile sind günstig von zahlreichen konkurrierenden Lieferanten leicht zu beschaffen. Bei diesen in großen Mengen zu beziehenden Kleinteilen wie Normteile und Zeichnungsteile ist der Anteil der Logistikkosten mit Transport, Handling, Bestandsüberwachung, Bestellabwicklung und Abrechnung bezogen auf den Einzelteilpreis sehr hoch. Ausschlaggebendes Zielkriterium ist hier die *Effizienz* des Beschaffungsprozesses. Bei ei-

ner effizienten Beschaffung sind neben dem Teilepreis insbesondere auch die internen Beschaffungs- und Logistikkosten zu berücksichtigen. Hier eignet sich ein C-Teile-Kanban, bei dem man mit den Teilen die logistische Lösung des C-Teile-Managements gleich mit einkauft. Der Lieferant garantiert die ständige Materialverfügbarkeit und übernimmt die Teileversorgung bis hin zum Shop Floor, gegebenenfalls sogar bis an den Verbrauchsort am Produktionsprozess. Bestellungen für diese Teile entfallen ganz.

Teure Materialien, Teile und Baugruppen mit einem entsprechend hohen Beschaffungsvolumen sind dagegen häufig sehr spezifisch, so dass es nur wenige Nischenanbieter zur Auswahl gibt. Die Standardstrategie des Einkaufs bei diesen *strategischen Teilen* lautet hier, aus der Not eine Tugend zu machen und das Versorgungsrisiko durch eine langfristig abgesicherte Zusammenarbeit mit dem Lieferanten zu senken. Bei einer derartigen strategischen *Kooperation* ist es auch möglich, eine sehr enge logistische Lieferantenanbindung zu entwickeln – das im Folgenden noch detaillierter erläuterte Lieferanten-Kanban. Auch hier steht nicht mehr der Teilepreis alleine im Vordergrund, sondern auch die Verringerung von Logistikaufwänden und die Erhöhung von Lieferfrequenzen.

Massenteile mit einem engen Beschaffungsmarkt – oft sind das elektronische Bauteile – sind *Engpassteile*. Trotz ihres geringen Kostenfaktors kann ihr Fehlen die Produktion zum Erliegen bringen. Die Standardstrategie lautet hier, durch *Substitution* entweder der Teile oder der unzuverlässigen Lieferanten das Versorgungsrisiko zu senken. Zielsetzung ist es also, keine Teile in diesem Quadranten des Portfolios zu haben. Dazu substituiert man die Engpassteile durch leicht zu beschaffenden Standardteile und kann sie dann mit dem C-Teile-Kanban beschaffen. Geht das nicht, sollte man zur Senkung des Versorgungsrisikos eine langfristige Zusammenarbeit mit den entsprechenden Lieferanten anstreben – und damit in den Quadranten der Kooperation mittels Lieferanten-Kanban wechseln.

Am Beschaffungsmarkt leicht verfügbare, hochwertige A-Teile bieten dem Einkäufer einen großen *Einsparhebel*, da zahlreiche Lieferanten in Konkurrenz zueinander anbieten. Durch das hohe Beschaffungsvolumen haben ausgehandelte Preissenkungen einen großen Effekt. Nicht dabei bedacht sind jedoch die höheren internen Beschaffungs- und Logistikkosten, die mit einer größeren Anzahl alternativer Lieferanten meist verbunden sind. Zu prüfen ist also, ob ein Hebelteil bei Betrachtung der internen Prozesskosten wirklich noch Einsparungen bietet, oder ob man es nicht besser als Standardteil im C-Teile-Kanban mit hoher logistischer Effizienz abwickelt. Zum Leidwesen mancher Produktionsverantwortlichen beachtet der kostensparende Einkäufer zuweilen auch etwas Zweites nicht – die Qualität, seien es Toleranzen oder Liefertreue. So kann sich manche Ersparnis

im Nachhinein als sehr teuer erweisen. Zu prüfen ist hier, ob man nicht besser alle A-Teile von kooperierenden Lieferanten in gut geregeltem, standardisiertem Lieferanten-Kanban beschafft – und dabei allerdings auf die Chancen eines größeren Beschaffungsmarktes verzichtet. Die Strategie der *Abschöpfung* lässt sich, da sie lediglich auf das eine Ziel der Wirtschaftlichkeit fokussiert ist, mit Kanban nicht realisieren. Dafür werden die für einen gleichmäßigen Produktionsfluss notwendige Zuverlässigkeit im Ablauf und Qualität der Teile sichergestellt.

Funktionslogik Die *Lieferantenanbindung* mit einer Kanban-Regelung setzt bei Kaufteilen ein einheitliches, werksübergreifendes Behälterkonzept mit aufeinander abgestimmten Gebindemengen voraus. Etwas aufwendiger ist die Mengenabstimmung, wenn es sich um Rohmaterialien wie Granulate, Flüssigkeiten, Papierrollen, Metallprofile, Blech- oder Drahtcoils handelt. Wenn nun ein Produktionsprozess ein im Supermarkt gelagertes Rohmaterial benötigt, bestellt er es per Entnahme-Kanban aus dem Rohmateriallager (Abb. 3.41). Das Rohmaterial ist mit einem Materialschein versehen, dem *Lieferanten-Kanban*. Diese Karte kann man nun bei der nächsten Anlieferung mit dem Lkw direkt zum Lieferanten transportieren oder aber, wie in der Abbildung dargestellt, um die Transportzeit zu sparen, über einen Beschaffungsprozess eine elektronische Bestellung auslösen. Im letzteren Fall wird der Materialschein an den Wareneingang übergeben und wartet dort im *Kanban-Postfach* auf das Eintreffen des Rohmaterials. Symbolisch dargestellt wird das Postfach durch ein oben offenes Rechteck mit Stil, in das das Kanban-Symbol aufrecht ‚hineingestellt' wird. Wählt man für jeden Tag ein eigenes Postfach, kann man etwaigen Lieferverzug unmittelbar sichtbar machen.

Beim Lieferanten-Kanban ist die Abwicklung der werksexternen Transporte an die Kanban-Logik anzupassen. Zielsetzung ist hierbei eine transportkostenneutrale Bestandssenkung. Die Lagerreichweite des Rohmaterial-Lagers hängt unmittelbar von der Lieferfrequenz ab und kann nicht niedriger liegen als der Bedarf zwischen zwei Lieferungen. Bei einer Umstellung von beispielsweise wöchentlicher auf tägliche Anlieferung gibt es ein Potential zur Bestandsreduzierung von 80 Prozent. Je nach den Restriktionen kann dieses Potential jedoch nur teilweise ausgeschöpft werden. Wenn beispielsweise der Tagesbedarf einer Variante geringer als ein Gebinde ist, dann ist die kürzestmögliche Reichweite länger als ein Tag – es sei denn die Gebindegrößen lassen sich reduzieren. Ein wichtiger Faktor zur Bestandssenkung sind auch die Transportkosten. Diese zu senken bei höherer Lieferfrequenz mit nur teilgefüllten Lkws hilft der sogenannte *Milk Run*. Dabei fährt der Spediteur alle Lieferanten nacheinander ab und sammelt so die relativ kleinen Liefermengen ein. Die gesamte Wegstrecke

ist somit kleiner als beim Pendelverkehr, so dass jeder Lieferant bei gleichem Aufwand häufiger angefahren werden kann. Der Milk Run wird symbolisch dargestellt mit einem Lkw-Symbol auf einem gebogenen, wie beim außerbetrieblichen Transport innen weißen Pfeil (Abb. 3.41).

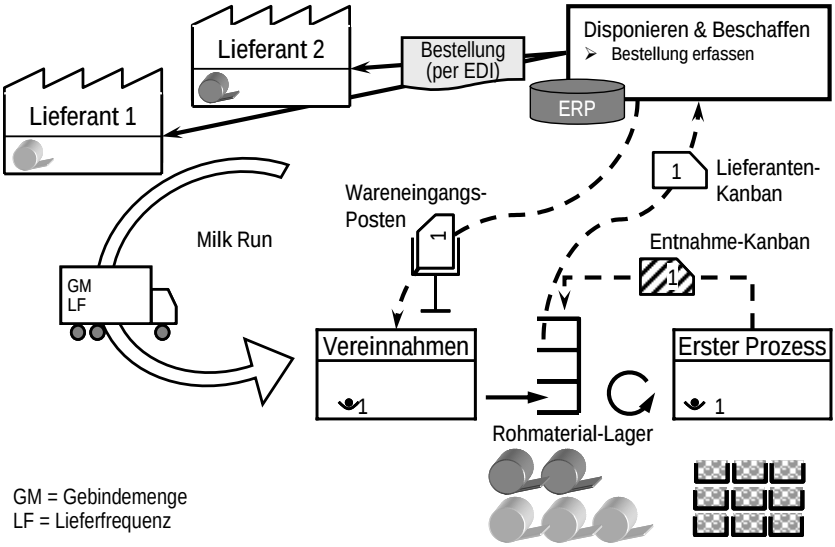


Abb. 3.41. Lieferanten-Kanban

Mengenabgleich Rohmaterial wird – im Unterschied zu einzelnen, zählbaren Kaufteilen – meist in Gewichts- oder Längeneinheiten gemessen und abgerechnet. Die in diesen Einheiten angegebene Gebindegröße kann wegen des unterschiedlichen Verschnitts und der variierenden Anlaufverluste beim Einstellen nach dem Rüsten nur ungefähr in Stückzahlen der daraus zu fertigenden Teile umgerechnet werden. Daher ist der Rohmaterialbestand nicht exakt, sondern nur nach Durchschnittwerten des *spezifischen Materialverbrauchs*, angegeben mit der Teileausbeute, in Reichweiten umrechenbar. Hinzu kommt, dass man einerseits das Rohmaterial in Gebinden, also nach Stückzahlen bestellt, andererseits aber die jeweilige Gebindemenge (Gewicht oder Länge) in einer nicht zu vernachlässigenden Toleranzbreite liegen kann. Dadurch sind auch einheitliche Bestellmengen – also beispielsweise ein Lieferanten-Kanban für ein Coil – immer je verschieden, beispielsweise irgendwo zwischen 450 und 550 Kilogramm. Alle genannten Werte sind im *Datenkasten* zum Rohmaterial-Supermarkt-Lager einzutragen (Abb. 3.42).

Der das Rohmaterial verwendende Produktionsprozess arbeitet entsprechend der Logik des Signal-Kanban in festen Losgrößen. Dafür benötigt er aber nie exakt ein (respektive ein ganzzahliges Vielfaches) Gebinde des

Rohmaterials, wie das die Kanban-Logik vorschreibt. Im Produktionsablauf wirkt sich das dann so aus, dass vom angebrochenen Gebinde ein Rest bleibt oder aber das Material kurz vor Erfüllung des Loses ausgeht. Der zweite Fall einer geringfügigen *Unterlieferung* ist im Regelfall unproblematisch, da sie lediglich bewirkt, dass die nachfolgende Bestellauslösung etwas früher erfolgt. Im ersten Fall könnte man den Rohmaterial-Rest natürlich einfach ins Lager zurückführen. Dabei würde jedoch ein erhöhter Logistikaufwand durch den Rücktransport entstehen und das Lager müsste auch größer sein, um zusätzlich die Anbruchsmengen jeder Variante wieder aufnehmen zu können. Im Übrigen würde man die Kanban-Regeln verletzen. Eine geeignete Lösung muss man daher für den jeweiligen Einzelfall finden. So könnte man auch eine geringfügige Überlieferung zulassen, im Rohmateriallager das FIFO-Prinzip verletzen und das in seiner spezifischen Größe am besten zum jeweiligen Los passende Gebinde auswählen oder die *Anbruchsmengen* direkt am Produktionsprozess zwischenlagern. Im Idealfall hat die fragliche Anlage ein Magazin für alle gängigen Materialarten.

Bezeichnungen, Namen, Orte	
# Var	Anzahl Materialvarianten
GG	Gebindegröße [kg, m, ..]
# B	Anzahl Rohmaterialgebinde
TA	Teileausbeute je Gebinde
RW	Reichweite

Abb. 3.42. Datenkasten für das Rohmaterial-Supermarkt-Lager

Meist können auch jeweils mehrere Teilevarianten aus der gleichen Rohmaterialart gefertigt werden, so dass ein Gebinde für mehrere Lose verwendet werden kann. Bei entsprechender Reihenfolge im Variantenmix entfällt zudem teilweise der Rüstaufwand des *Materialwechsels*. In diesem Fall muss jedoch die Rüstreihenfolge von der Produktionsplanung durch entsprechendes Umsortieren des Signal-Kanban oder eine insgesamt veränderte Ablauflogik vorgegeben werden (Abschn. 3.4.2). Den reduzierten Rüstaufwand bezahlt man so mit erhöhtem Planungsaufwand und einer längeren Wiederbeschaffungszeit für eine Variante.

Kanban-Regelung

Kanban regelt die Nachproduktion von Teilen entsprechend des Verbrauchs. Die unterschiedlichen Implementierungen von Kanban-Regelungen lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen.

1. Das einfache Produktions-Kanban erlaubt die Entkopplung von Produktionsprozessen mit kleinen Losgrößen. Ein Los entspricht einer Gebindemenge. Durch kurze Rüstzeiten und kleine Losgrößen ist die Durchlaufzeit noch vergleichsweise gering. Der Kundenprozess entnimmt in Losen, kann die bereitgestellten Teile aber auch einzeln weiter verarbeiten. Im Supermarkt-Lager sind alle Varianten vorrätig.
2. Das Signal-Kanban ermöglicht die Einbindung von Produktionsprozessen mit langen Rüstzeiten in den Wertstrom. Beim Dreiecks-Kanban wird jede Variante bei unterschreiten eines Bestellpunktes im Supermarkt in fixer Losgröße nachproduziert. Beim Einsatz einer Steuerungstafel werden einzelne Produktions-Kanban gesammelt und in Losen nachproduziert. Das Rüstportfolio zeigt, dass bei der Kanban-Regelung die Rüstzeitreduktion bei konstantem Rüstzeitanteil angestrebt wird. Mit dem EPEI-Wert ermittelt man bei Annahme einer kompletten Ressourcennutzung die minimal mögliche Losgröße und damit maximale Variantenflexibilität.
3. Das Lieferanten-Kanban ermöglicht die aufwandsarme Beschaffung von Rohmaterialien und Kaufteilen. Mit dem C-Teile-Kanban werden kleine Norm- und Zeichnungsteile nach dem Kriterium der logistischen Effizienz beschafft. Das Lieferanten-Kanban gestaltet die zuverlässige und gleichmäßig ablaufende Versorgung mit strategischen Teilen durch Kooperation. Mit dem Milk Run kann die Lieferfrequenz erhöht werden. Dies senkt die Rohmaterialbestände und vergleichmäßigt den Wertstrom. Der an Behältermengen orientierte erste Produktionsprozess macht einen Mengenabgleich mit den schwankenden Gebindegrößen des Rohmaterials erforderlich.

Fallbeispiel Bei Liquipur soll das Montieren mit dem Fräsen je nach Variante durch ein Produktions-Kanban oder ein Signal-Kanban verknüpft werden – über das mit FIFO angekoppelte Waschen hinweg. Ferner soll für die Rohgussteile ein Lieferanten-Kanban eingerichtet werden (Abb. 3.43).

Produktions-Kanban Die Kundenanforderungen an das Versandgebinde bleiben gleich. Daher kann auch zukünftig die Fertigware in Gebinden zu jeweils 60 Stück versendet werden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, auch beim letzten Produktionsprozess des Wertstroms, dem Montieren, in gleicher Losgröße zu arbeiten. Deshalb werden dem vorgelagerten Supermarkt-Lager bei jeder Variante Mengen

zu jeweils 60 Stück entnommen. Da die Teile nach dem Waschen nicht umgepackt werden sollen, stapelt man jeweils drei Waschkörbe mit je zwanzig Teilen für einen Lagerplatz.

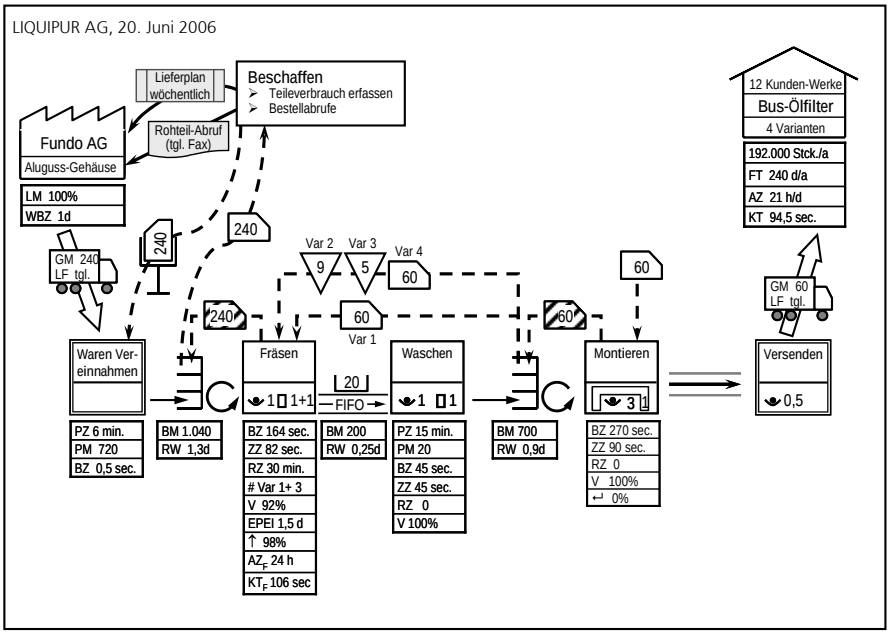


Abb. 3.43. Wertstromdesign bei Liquipur (3): Kanban-Regelung

Eine einfache Überlegung zeigt, dass die Variante 1 mit einem Stückzahlanteil von ziemlich genau 50 Prozent kontinuierlich auf einer Fräsmaschine gefertigt werden kann. Dadurch braucht an dieser Maschine nicht mehr gerüstet zu werden. Für jedes entnommene Los kann dann ein Produktions-Kanban zu 60 Stück ausgelöst werden. Die leeren Waschkörbe werden unabhängig vom Kanban-Regelkreis von der Montage zur Waschmaschine gebracht.

Mit konsequenter vorbeugender Instandhaltung soll die Verfügbarkeit der Fräsmaschine auf 92 Prozent gesteigert werden. Bei einer Bearbeitungszeit von weiterhin 164 Sekunden ergibt sich ein durchschnittlicher Kapazitätsbedarf von 178 Sekunden pro Stück. Bei der Auslegung soll nicht mehr davon ausgegangen werden, dass die Maschinen immer die Pausen durchlaufen. Daher stehen täglich 21 Stunden Arbeitszeit zur Verfügung. Der tägliche Bedarf an Variante 1 von 400 Stück ist noch mit dem Ausschuss von 2 Prozent zu beaufschlagen, so dass also durchschnittlich 408 Teile bearbeitet werden müssen. Nach Gleichung 2.1 ergeben sich für den Kundentakt 185 Sekunden, was vier Prozent über der erforderlichen Zykluszeit liegt.

Signal-Kanban Die anderen drei Varianten werden auf der zweiten Fräsmaschine produziert. Die Rüstzeit wird deutlich auf 30 Minuten reduziert, was aber für eine

einheitliche Losgröße von 60 Stück noch nicht ausreichend ist. Daher ist zur Losgrößenermittlung der EPEI-Wert nach Gleichung 3.6 zu berechnen:

$$MBZ = BZ \times Stck = \left(\frac{164\,\text{sec}}{3600} \times 408\,\frac{\text{Stck}}{\text{d}}\right) = 18{,}59\,\frac{\text{h}}{\text{d}}$$

$$EPEI = \frac{\#\,Var \times RZ}{(AZ \times \#\,Res) \times V - MBZ} = \frac{3 \times 0{,}5\,\text{h}}{\left(21\,\frac{\text{h}}{\text{d}} \times 1\right) \times 92\% - MBZ} = \frac{1{,}5\,\text{h}}{19{,}32\,\frac{\text{h}}{\text{d}} - 18{,}59\,\frac{\text{h}}{\text{d}}} \approx 2{,}05\,\text{d} \tag{3.12}$$

mit:
- RZ Rüstzeit [h]
- # Var Anzahl Varianten
- AZ Arbeitszeit [h]
- # Res Anzahl Ressourcen
- V Verfügbarkeit [%]
- MBZ Maschinenbelegungszeit [h]
- BZ Bearbeitungszeit [h]

Durch Multiplikation mit dem durchschnittlichen Tagesbedarf errechnet sich die minimale Losgröße je Variante LG_{Var} zu:

$$LG_{Var2} = \frac{58.000\,\text{Stck}}{240\,\text{d}} \times 2{,}05\,\text{d} = 495\,\text{Stck} \;\cong\; 540\,\text{Stck} = 9 \times 60\,\text{Stck}$$

$$LG_{Var3} = \frac{30.000\,\text{Stck}}{240\,\text{d}} \times 2{,}05\,\text{d} = 256\,\text{Stck} \;\cong\; 300\,\text{Stck} = 5 \times 60\,\text{Stck} \tag{3.13}$$

$$LG_{Var4} = \frac{8.000\,\text{Stck}}{240\,\text{d}} \times 2{,}05\,\text{d} = 68\,\text{Stck} \;\cong\; 60\,\text{Stck}$$

Für die zweite Variante wird demnach der Signalfaktor neun, für die dritte der Signalfaktor fünf und für die vierte Variante wird der Faktor eins gewählt. Die exotische Variante wird also trotz des hohen Rüstzeitanteils von über 15 Prozent (30 Minuten Rüsten bei 164 Minuten Bearbeitung) wie beim Produktions-Kanban gehandhabt. Mit den aufgerundeten Losgrößen ergibt sich nach Gleichung 2.6 der EPEI-Wert zu:

$$EPEI = \frac{\#Var}{\#\,Res \times V} \times \frac{((LG \times BZ) + RZ)}{AZ} = \frac{3}{1 \times 92\%} \times \frac{(15 \times 60 \times 164\,\text{sec}) + 30\,\text{min}}{21\,\text{h}} = 2{,}2\,\text{d} \tag{3.14}$$

Supermarkt-Bestand für Halbfabrikate Im eingeschwungenen Zustand des Signal-Kanban befindet sich im Supermarkt-Lager für die Halbfabrikate vor dem Montieren die halbe Reichweite des EPEI-Wertes zuzüglich Puffer- und Sicherheitsbestand. Bei einem Tagesbedarf der Varianten 2 bis 4 von 400 Stück und einem EPEI-Wert von 2,2 Tagen sind dies 440 Stück. Zum Produktionsmixausgleich sei eine Schwankungsbreite von 30 Prozent angenommen, das sind etwa 130 Stück. Bei Variante 1 sollen immer ein bis zwei Lose vorrätig sein, also 90 Stück. Bei allen Varianten soll eine Maschinenstörung von maximal einer Stunde abgesichert werden. Bei einem Tagesbedarf von 800 Stück sind dies etwas 40 Stück. In Summe ergibt sich ein Bestand von durchschnittlich 700 Stück, das entspricht einer Reichweite von 0,9 Tagen.

Bestellpunkt Der Bestellpunkt sei beispielhaft für Variante 3 berechnet. Variante 2 hat bei einer Losgröße von 540 Stück mit 164 Sekunden Zykluszeit und 30 Minuten Rüstzeit eine Bearbeitungsdauer von 25,1 Stunden. Da es insgesamt nur drei Varianten gibt, sollte man den Bestellpunkt danach ausrichten, dass das vorhergehende Los schon zur Hälfte bearbeitet ist. Die Wartezeit beträgt dann also 12,5 Stunden. Hinzu kommt die Bearbeitungszeit für Variante 3 (vgl. Gl. 3.9). Da das Material direkt nach der Fertigstellung in den Waschbehältern über die FIFO-Bahn und den Waschprozess in Stapeln von je drei Behältern zum Supermarkt gebracht wird, sind hier für die Wiederbeschaffung die Waschdauer von 15 Minuten, der FIFO-Puffer von 200 Stück, das entspricht 5,25 Stunden, sowie die Bearbeitungszeit für 60 Stück, das sind 2,7 Stunden, anzusetzen. In Summe ergeben sich damit 20,7 Stunden, also etwa ein Tag. Bei einem Tagesbedarf der Variante 3 von 125 Stück sind dies 123 Stück. Für den Puffer sind 30 Prozent aufzuschlagen, das ergibt 160 Stück. Als Sicherheitsbestand sind für eine Stunde 6 Stück erforderlich. Damit liegt der Bestellpunkt bei 2,7 Losen zu 60 Stück, das Signal-Kanban auf dem dritten Behälterstapel.

Lieferanten-Kanban Die Lieferantenanbindung ist bereits im Ist-Zustand sehr gut. Mit der Einführung des Lieferanten-Kanban braucht die Lieferfrequenz von einem Tag nicht erhöht zu werden. Es wird davon ausgegangen, dass eine Wareneingangsprüfung nicht mehr erforderlich ist. Der eingetragene Arbeitsaufwand von 6 Minuten pro Palette mit 240 Stück resultiert vom Entladen. Als Bestand wird ein Bedarfspuffer von 30 Prozent vorgesehen, so dass der Bestand im Rohmaterial 1.040 Stück, das sind 1 Tag und ein Behälter.

3.3.3 Produktionssteuerung am Schrittmacher-Prozess

Kontinuierliche Fließfertigung, FIFO-Verkopplung und Kanban-Regelung sind die drei Gestaltungsrichtlinien, die für einen schlanken Materialfluss benötigt werden. Mit ihnen kann der Materialfluss für beliebige Produktionen von Stückgut *vollständig* aufgebaut werden. Es sind keine weiteren Grundprinzipien erforderlich. Einzelprozesse oder Fließfertigungen bilden dabei die Elemente des Wertstroms, die durch FIFO-Bahnen oder durch unterschiedliche Kanban-Regelungen verknüpft werden. Bei der Kombination dieser Verknüpfungen sind einige Regeln zu beachten, die im Folgenden dargestellt werden.

Schrittmacher Von zentraler Bedeutung dabei ist die Festlegung, wie der gesamte Wertstrom zu steuern ist. Im Unterschied zu den prognosebasierten Steuerungen gilt hier die Richtlinie, dass es für den Gesamtablauf eines jeden hergestellten Produktes nur genau *einen Einsteuerungspunkt* geben darf. Die zugehörigen Produktionsprozesse werden dann abhängig von diesem Einsteuerungspunkt über die genannten Verkopplungsprinzipien geregelt.

Der ausschlaggebende Vorteil dieser eindeutigen Festlegung des Einsteuerungspunktes ist, dass dadurch sich widersprechende Steueranweisungen, die unweigerlich zu Beständen und Fehlmengen führen, vermieden werden. Die Produktionssteuerung sollte also nur an einer Stelle im Wertstrom eingreifen. Im Regelfall – wenn alle Produkte einer Produktfamilie gleich gesteuert werden – gibt es damit in jedem Wertstrom genau einen Produktionsprozess, der gesteuert wird, während alle anderen Produktionsprozesse dieses Wertstroms davon abhängig geregelt werden. Dieser Prozess ist der *Schrittmacher-Prozess*, der für alle Prozesse des Wertstroms den Takt und damit den Produktions-Rhythmus vorgibt. Für die Steuerung eines Wertstroms gilt damit folgende Gestaltungsrichtlinie:

Gestaltungsrichtlinie 5: *Schrittmacher-Prozess*

Jeder Wertstrom ist an genau einem, eindeutig festgelegten Schrittmacher-Prozess im Kundentakt zu steuern.

Der Schrittmacher-Prozess übernimmt den Kundenbedarf für die Produktion. Die Aufträge sollten daher entsprechend des Kundentaktes eingesteuert werden. Der Schrittmacher sollte sich daher in besonderem Maße am Kundentakt orientieren und ihn auch sichtbar machen. Nur so kann die Kundennachfrage als *Rhythmus* in die Produktion eingesteuert werden. Abweichungen vom Kundentakt, die am Schrittmacher entstehen, pflanzen sich über den ganzen Wertstrom fort und verschlechtern so die Zielerreichung der gesamten Produktion. Daher sollte man bei der Gestaltung des Schrittmachers Vorrichtungen vorsehen, die etwaige Zeitüberschreitungen *visualisieren* können. Das können eine Leuchtanzeige, ein Signalton oder auch eine Anzeigetafel mit geplanter und tatsächlicher Produktionszahl sein.

Produktionstypen Die Produktionsplanung wandelt die Kundenaufträge in Produktionsaufträge um (Abschn. 3.4), die dann am Schrittmacher-Prozess eingesteuert werden. Am Schrittmacher-Prozess liegt damit zugleich auch der *Kundenentkopplungspunkt*. Dieser trennt die kundenanonyme Vorproduktion von der kundenauftragsbezogenen, nachgelagerten Produktion. Daher können ausschließlich am Schrittmacher-Prozess oder weiter flussabwärts Erzeugnisse mit kundenspezifischen Eigenschaften produziert werden. Je nach Lage des Schrittmachers im Wertstrom können damit unterschiedliche Produktionstypen realisiert werden.

Bei der logistischen Verknüpfung der Produktionsprozesse mit dem Schrittmacher-Prozess sind einige Regeln einzuhalten. Dabei gilt allgemein, dass die kundenanonymen Vorprozesse über Kanban-Regelkreise und die kundenauftragsbezogenen Folgeprozesse über FIFO-Verkopp-

lungen verknüpft werden. Flussabwärts kann also eine Abfolge von mehreren getrennten Fließfertigungen beziehungsweise einzelnen Produktionsprozessen an den Schrittmacher jeweils über eine FIFO-Bahn angekoppelt werden. In diesen Fällen liegt der Schrittmacher relativ weit flussaufwärts im Wertstrom, das heißt die meisten Produktionsprozesse arbeiten kundenauftragsbezogen. Da bei diesen Lösungen auch die Teilefertigung kundenspezifisch erfolgen kann, spricht man auch von *Make-to-Order* (Abb. 3.44, Fall 1). Ein dem Schrittmacher-Prozess nachgelagerter Kanban-Regelkreis ist ausgeschlossen, da er zur Entkopplung führt und so den Schrittmacher automatisch verschieben würde.

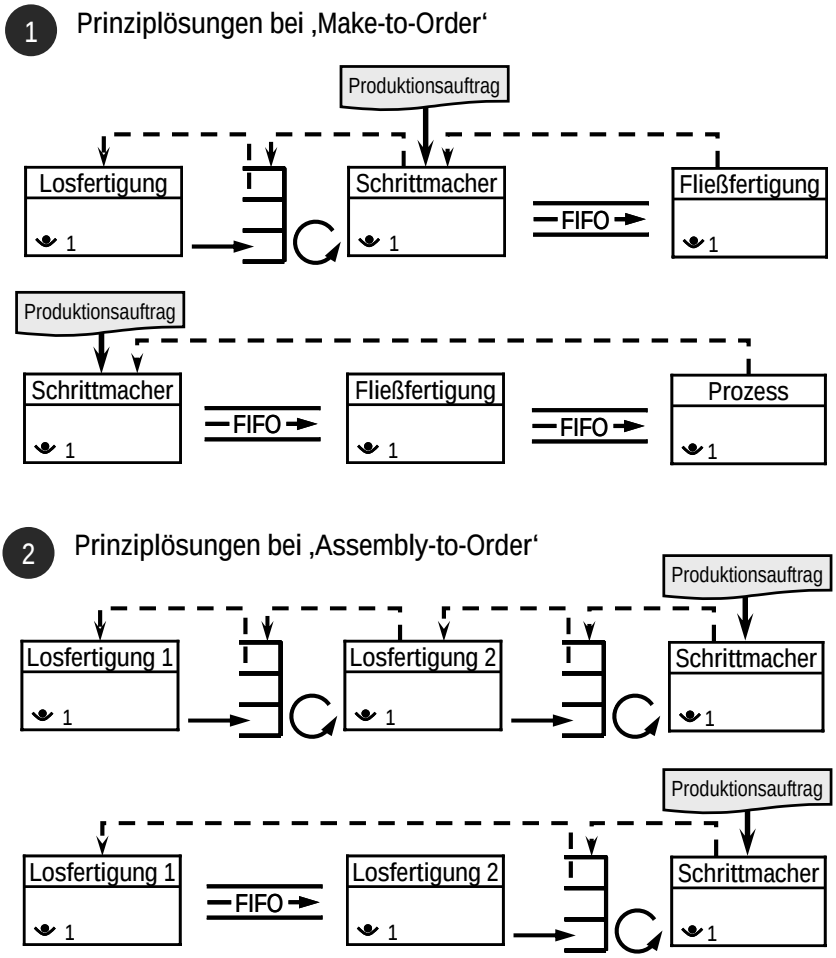


Abb. 3.44. Lage des Schrittmacher-Prozesses im Wertstrom

Flussaufwärts hingegen kann eine Abfolge von mehreren, gegebenenfalls mit unterschiedlichen Losgrößen arbeitenden Produktionsprozessen über Kanban angebunden werden. Wenn die Teilefertigung kundenanonym erfolgt, und nur der letzte Produktionsprozess, der in der Regel eine Montage ist, kundenbezogen gesteuert wird, spricht man auch von *Assembly-to-Order* (Abb. 3.44, Fall 2). Die Kanban-Regelung wird normalerweise über eine der Anzahl der verknüpften Produktionsprozesse entsprechende Anzahl von Kanban-Regelkreisen erfolgen. Es ist aber auch möglich, zwei in Losen produzierende Prozesse direkt über eine FIFO-Bahn zu verkoppeln und beide gemeinsam über einen Kanban-Kreis zu regeln.

Versandprinzip In der bisherigen Betrachtung ist der Prozess ‚Versenden' bewusst ausgeklammert geblieben, da sich dieser Prozess aus zahlreichen Gründen nicht zum Schrittmacher eignet. Das liegt zum Teil bereits an der einfachen Tatsache, dass man im Kundentakt nur dann versenden kann, wenn jedes Produkt einen eigenen Lkw benötigt. Es wäre allenfalls denkbar, im Kundentakt zu verladen. Dann aber müssen regelmäßig Lkws entsprechend des Schichtmodells der Produktion fahren, was ausschließlich bei einer Just-in-Sequence-Belieferung des Kunden sinnvoll und dann auch notwendig ist. S muss sich der Versand an Tourenplänen orientieren, das Zeitraster des normalen Speditionsbetriebs berücksichtigen, auf das Eintreffen von Lkws der Kunden warten und Abholzeiten von Paketdiensten beachten. Daher arbeitet der Versand meist in einem anderen Schichtmodell als die Produktion. Aufgrund der besonderen Anforderungen ist der Versand ferner meist für mehrere Wertströme zuständig – und müsste dann Schrittmacher für unterschiedliche Takte sein. In allen Fällen, in denen Versandkommissionen unterschiedlicher Artikel zusammengestellt und anschließend in Paketen oder auf Paletten verpackt und etikettiert werden, liegt eine Losabfertigung mit stark schwankenden Losgrößen vor. Zudem ist der jeweilige Zeitbedarf von der Stückzahl nicht linear abhängig, wodurch eine Funktion als Schrittmacher unmöglich ist. Insgesamt würde man also vom Versenden aus Zufälligkeiten und extern bestimmte Restriktionen, nicht aber den Kundentakt in die vorgelagerte Produktion übertragen.

Der Schrittmacher wird also immer ein Produktionsprozess flussaufwärts vor dem Versenden sein. Für die logistische Verknüpfung vom Schrittmacher zum Versenden gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten. Legt man die Gestaltungsrichtlinie so aus, dass der Schrittmacher unmittelbar mit den Kundenaufträgen anzusteuern ist, dann erhält man einen *direkten Versand*. Alle Produkte werden in den Produktionsschritten ab dem Schrittmacher-Prozess kundenauftragsbezogen hergestellt, im Versand be-

reitgestellt, versandfertig gemacht und dann möglichst schnell auch versendet. Zwischen Schrittmacher und Versenden befindet sich eine FIFO-Bahn (Abb. 3.45, Fall 1). Diese Lösung entspricht allen ‚Make-to-Order'-Variationen und ist bei einer kundenspezifischen Produktion in kleinen Stückzahlen auch die einzige Möglichkeit. Direktes Versenden ist aber auch in der variantenarmen Serienfertigung gut einsetzbar, wenn nämlich der letzte Produktionsprozess in jeweils richtigen Mengen direkt in die Versandbehälter produziert.

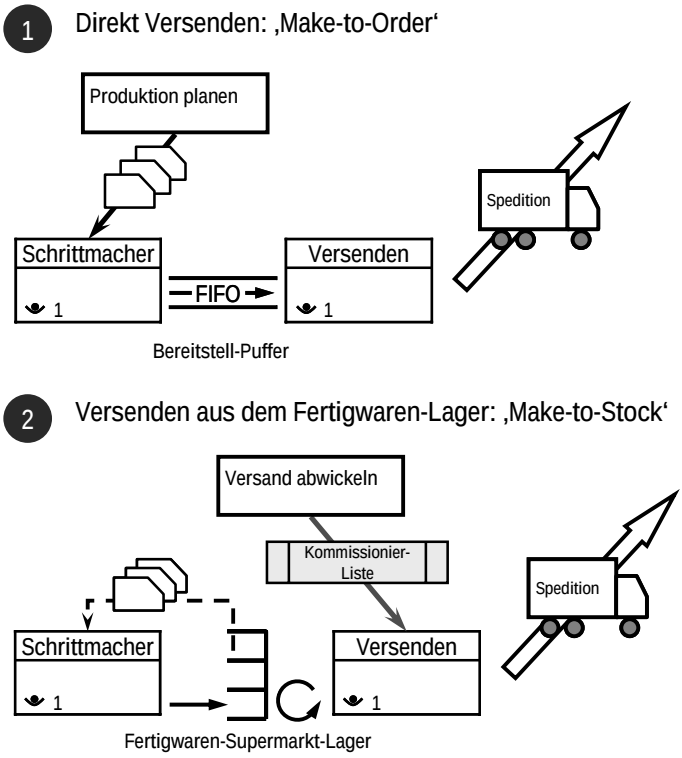


Abb. 3.45. Anbindung des Schrittmachers an das Versenden

Bei der zweiten Möglichkeit wird der Schrittmacher indirekt vermittelt über ein Fertigwarenlager angesteuert. Der Versandbereich erhält eine Kommissionierliste, eine Auslagerungsliste oder dergleichen und entnimmt die entsprechenden Produkte dem Fertigwarenlager. Die Nachproduktion der entnommenen Artikel wird entsprechend der vierten Gestaltungsrichtlinie über eine Kanban-Regelung abgewickelt. In diesem Fall erfolgt also ein *Versand aus dem Supermarkt-Lager*. Diese Make-to-Stock-Lösung ist geeignet vor allem bei meist kundenanonymer Produktion von

Serienprodukten mit übersichtlicher Produktvarianz (Abb. 3.45, Fall 2). Die Verknüpfung über das Lager erlaubt es, die in Losen hergestellten Produkte auch in Teilkommissionen zu versenden, während beim direkten Versand die Kundenauftragslosgröße der Produktionslosgröße entsprechen muss. Wenn alle Artikel auf Lager produziert werden, schirmt das Fertigwarenlager die Produktion von störenden Einflüssen aus dem Versand ab.

Auftragsdurchlaufzeit Bei strikter Anwendung der Gestaltungsrichtlinien zu Fließfertigung, FIFO-Verkopplung und Kanban-Regelung steht die *Lage des Schrittmacher-Prozesses* im Wertstrom bereits eindeutig fest. Er ist der erste Produktionsprozess flussabwärts betrachtet, der nicht in großen Losen gefahren werden muss. Damit liegt er so weit flussaufwärts, wie jeweils technisch möglich erscheint. So kann ein möglichst großer Anteil der Produktion kundenauftragsbezogen und damit bei Bedarf auch kundenspezifisch arbeiten. Das erstgenannte vermindert eine über den tatsächlichen Kundenbedarf hinausgehende Überproduktion. Zweitgenanntes gestattet es, eine hohe Varianz der Produkteigenschaften passend zu den divergierenden Kundenwünschen möglichst aufwandsarm abzudecken.

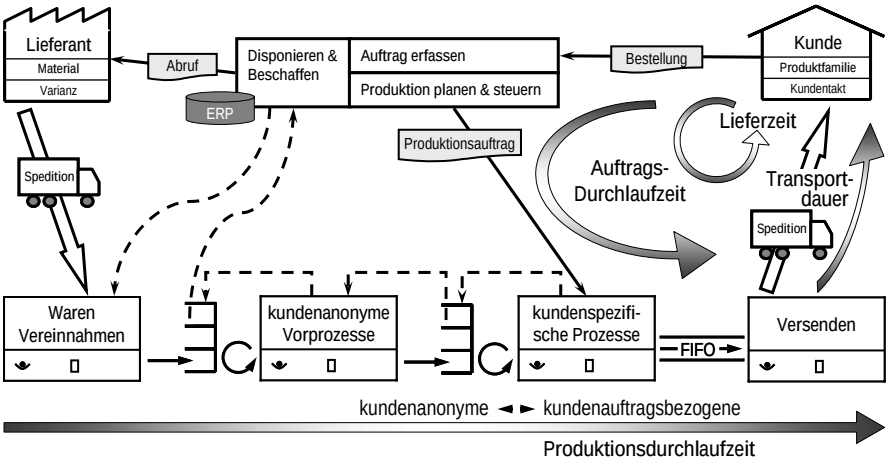


Abb. 3.46. Schematische Gesamtsicht des idealen Soll-Zustands einer Produktion

Bedingung für die strikte Anwendung der Gestaltungsrichtlinien eins bis fünf ist, dass die am Markt angebotene *Lieferzeit* ausreichend groß ist. Die Lieferzeit setzt sich aus Auftragsdurchlaufzeit und Transportdauer zusammen. Die jeweiligen Zeitspannen in ihrem Bezug zum Wertstrom sind in der schematischen Gesamtsicht des idealen Soll-Zustands einer beliebigen Produktion von Stückgut mit Direktversand abzulesen (Abb. 3.46). Um nun den angestrebten idealen Produktionsablauf realisieren zu können,

muss deren Summe kleiner als die gewünschte Lieferzeit sein. Ist dies nicht der Fall, sollten unterschiedliche Möglichkeiten der Beschleunigung geprüft werden. Die *Transportdauer* ist meist ohne (kostenintensiven) Wechsel des Transportmittels nicht verringerbar. Ein Tourenplan kann zusätzlich durch die Restriktion, bestimmte Versandtage einhalten zu müssen, zu Wartezeiten führen. Bleibt die Kürzung der Auftragsdurchlaufzeit als Ansatzpunkt für die Produktionsoptimierung.

Die *Auftragsdurchlaufzeit* setzt sich aus zwei Teilen zusammen; der administrativen und planerischen Auftragsabwicklung sowie dem kundenauftragsbezogenen Teil der *Produktionsdurchlaufzeit*. Letztere ließe sich reduzieren durch Verkleinerung der Maximalbestände auf den FIFO-Bahnen oder auch Verkürzung der Bearbeitungszeiten. Beides dürfte aufgrund der bereits durchgeführten Verbesserungen kaum möglich sein. Bliebe also die Verschiebung des Schrittmacher-Prozesses flussabwärts, sofern eine kundenanonyme Vorfertigung der Teile möglich ist. Die Verkürzung der Lieferzeit wird dann aber mit Beständen an vorgefertigten Teilen erkauft. Sofern es sich nicht um kundenspezifische Produkte handelt, ist auch die Einrichtung eines Fertigwarenlagers denkbar, das dann den Schrittmacher ansteuert. Das Versand-Kanban (Abb. 3.45) erlaubt also die Realisation der kürzestmöglichen Lieferzeit. Der Preis für die gemessen an der Lieferzeit zu langsam erfolgende Produktion ist dann der zusätzliche Fertigwarenbestand.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Auftragsdurchlaufzeitreduktion ist die *Auftragsabwicklung*. Sie ist, sofern der Kunde nicht per Briefpost bestellt und alle benötigten kundenspezifischen Daten zur Verfügung stellt, ausschließlich durch unternehmensinterne Geschäftsprozesse bestimmt. Dabei handelt es sich um die Auftragserfassung, die Auftragseinplanung sowie die Versanddisposition. Inwiefern die administrativen Prozesse der Auftragserfassung und Versanddisposition durch verbesserte elektronische Hilfsmittel, Parallelisierung, Teilautomatisierung, Elimination von Doppelarbeiten und Abstimmungsaufgaben beschleunigt werden können, soll hier nicht weiter untersucht werden. Wichtig ist hierbei, dass die Einführung des FIFO-Prinzips in der Auftragsabwicklung eine zentrale Voraussetzung für die Einführung einer schlanken Produktion ist, da nur so alle Aufträge in gleicher Weise bearbeitet werden können, ohne verloren zu gehen. Bei optimal implementierter und benutzter Software zur Auftragsabwicklung und zur Produktkonfiguration sind zumindest für variantenreiche Standardprodukte vernachlässigbar geringe Zeitdauern im Ablauf erreichbar.

Die Auftragseinplanung wandelt Kundenaufträge in Produktionsaufträge um und legt den Zeitpunkt des Produktionsbeginns mehr oder weniger zeitpunktgenau fest. Dies ist Aufgabe der Produktionsplanung (Abschn.

3.4). Durch die Planung ergeben sich *Wartezeiten* für die Kundenaufträge, die einen sehr großen Zeitanteil der Auftragsabwicklung beinhalten. Nur bei überwiegend kundenspezifischen Produkten mit hohen Zeitanteilen für die Konstruktion, wie zumeist im Anlagenbau, tritt die Wartezeit in den Hintergrund. Die genannten Wartezeiten sind demnach im Regelfall bestimmend für die erreichbare Lieferzeit aller nicht ausschließlich kundenspezifisch konstruierten Produkte. Sie resultieren aus der im folgenden Abschnitt eingeführten Planungslogik, die mit weiteren Gestaltungsrichtlinien konzipiert wird. Erst danach liegt der Produktionsablauf im Ganzen fest und kann dann auf die angestrebte Lieferzeit abgestimmt werden.

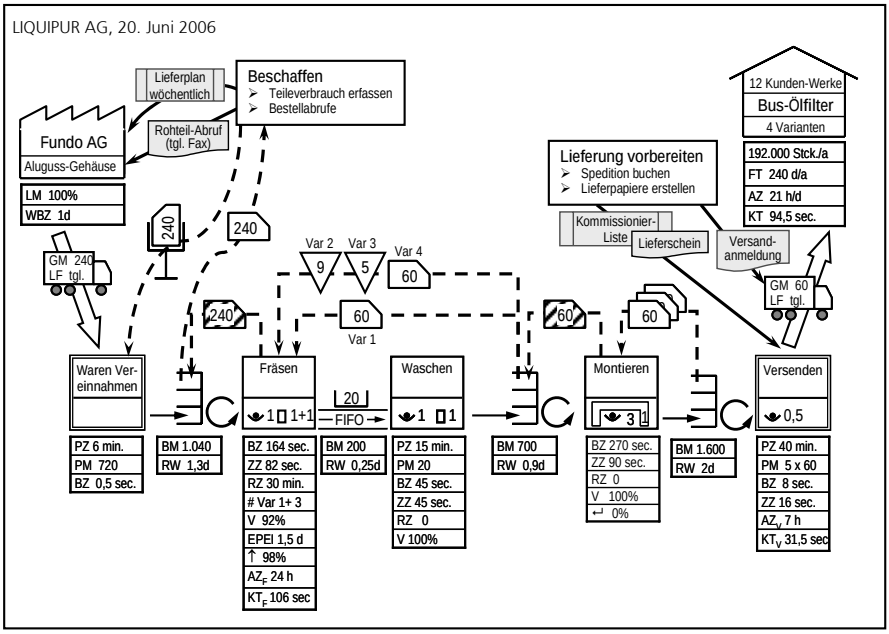


Abb. 3.47. Wertstromdesign bei Liquipur (4): Versand-Kanban

Fallbeispiel Bei Liquipur wird als Versandprinzip das Versand-Kanban gewählt (Abb. 3.47). Da die Lieferzeit mit einem Tag sehr kurz bemessen ist, kann nicht nach verbindlicher Bestellung erst montiert werden. Da die Bedarfsvorschau selten exakt stimmt, kann man auch nicht jeweils einen Tag genau vorproduzieren. Deshalb wird ein Fertigwarenlager mit einer Reichweite von zwei Tagen eingerichtet, das die Bedarfsschwankungen abpuffert (vgl. Abb. 3.49) und alle Kundenwünsche sofort bedient. Die Bedarfsvorschau hilft, etwaige Variantenmixverschiebungen rechtzeitig zu berücksichtigen.

Schrittmacher

Zielsetzung Jeder Wertstrom soll an genau einem Punkt gesteuert werden. Der gesteuerte Produktionsprozess ist der Schrittmacher für die gesamte Produktion. Alle anderen Prozesse werden davon abhängig geregelt.

Umsetzung im Wertstrom Am Schrittmacher liegt auch der Kundenentkopplungspunkt. Eine kundenspezifische Produktion kann ausschließlich am Schrittmacher-Prozess sowie flussabwärts erfolgen. Alle vorgelagerten Prozesse arbeiten kundenanonym. Durch die Lage des Schrittmachers wird der Produktionstyp dahingehend festgelegt, ob kundenauftragsbezogen gefertigt oder montiert wird oder ob es sich um eine Lagerfertigung handelt.

Der Versandprozess kann kein Schrittmacher sein, da er immer auch den gleichmäßigen Produktionsfluss von Schwankungen beim Kundenbedarf und den Restriktionen der Versandlogistik abschirmen muss. Bei einer Lagerfertigung wird der Schrittmacher durch das Versand-Kanban komplett vom Versenden entkoppelt. Beim Direktversand bestimmt ebenfalls der Schrittmacher-Prozess den Rhythmus der Produktion, und nicht der Versandprozess, der über einen Bereitstellpuffer bedient wird.

Auswirkungen Die Produktionsdurchlaufzeit ergibt sich aus der Anwendung der ersten fünf Gestaltungsrichtlinien. Die Lage des Schrittmachers entscheidet über den kundenauftragsbezogenen Anteil der Produktionsdurchlaufzeit. Damit ist ein Teil der erreichbaren Lieferzeit festgelegt. Die restlichen Anteile ergeben sich aus Transportzeit und Produktionsplanung.

3.4 Produktionsplanung

Im vorangehenden Abschnitt zur Produktionssteuerung sind mit den eingeführten Gestaltungsrichtlinien Steuerungsregeln definiert worden, mit denen der Materialfluss in einer Produktion am besten gesteuert und geregelt werden sollte. Im folgenden Abschnitt zur *Produktionsplanung* sind diejenigen Gestaltungsrichtlinien herauszuarbeiten, nach denen die Planungslogik bis zur Auftragsfreigabe zu konzipieren ist. Für das reibungslose Funktionieren der bereits konzipierten Produktionssteuerung wurde implizit angenommen, dass alle Produktionsaufträge in dazu geeigneter Weise zuvor durch die Produktionsplanung freigegeben worden sind. Die *Auftragsfreigabe* muss daher so erfolgen, dass mit den definierten Steuerungsregeln

ein gleichmäßig fließender Wertstrom entsteht. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Produktionsplanung drei Aufgaben erfüllen.

Erstens sind die Kundenaufträge in Produktionsaufträge für den Schrittmacher-Prozess umzusetzen. Die für eine einfache Steuerung beste Lösung ist es, dabei immer gleich große Freigabeeinheiten zu erzeugen. Damit die Produktion gleichmäßig produzieren kann, muss auch die Belastung gleichmäßig erfolgen. Durch diese volumenbezogene *Produktionsnivellierung* entsteht bei schwankendem Kundenbedarf eine *Warteschlange* an Aufträgen (Abschn. 3.4.1). Zweitens sind die gebildeten Produktionsaufträge in die richtige *Reihenfolge* zu bringen. Dies erreicht man durch eine *Produktionsglättung* hinweg über alle Varianten mit ihren jeweils unterschiedlichen Anforderungen an die Produktion (Abschn. 3.4.2). Schließlich sind drittens in einigen Fällen Freigabezeitpunkt und Auftragsreihenfolge zusätzlich abhängig von durch einzelne Produktionsprozesse bestimmte, kapazitative und technische *Restriktionen*, die zusätzlich bei der Planung berücksichtigt werden müssen (Abschn. 3.4.3). Mit diesem einfachen Regelwerk können auch Wertströme, die mit anspruchsvollen Produktionsprozessen komplexe Produkte herstellen, geplant werden. Dabei wird nicht, wie bei klassischen PPS-Ansätzen, mittelwertbasiert mit prognostizierten Daten gearbeitet, sondern jeder Auftrag wird einzeln eingeplant.

Zielsetzungen der Produktionsplanung

Damit eine einfache Produktionssteuerung möglich ist, muss der Kundenbedarf in der Produktionsplanung so aufbereitet werden, dass die Produktion möglichst gleichmäßig belastet wird. Dann erst kann ein gleichmäßiger Wertstrom entstehen. Dazu sind einheitliche Produktionsauftragseinheiten zu bilden, die in gleichmäßigem Rhythmus freizugeben sind. Die Reihenfolge der Produktionsaufträge ist so festzulegen, dass der Variantenmix einen kontinuierlichen Teile- und Kapazitätsbedarf erzeugt sowie andere Restriktionen der Produktionsprozesse berücksichtigt werden.

3.4.1 Produktionsnivellierung

Vorrangige Zielsetzung der Produktionsplanung ist, durch die Auftragsfreigabe eine gleichmäßig fließende Produktion zu erreichen. Dazu sollte dem Schrittmacher-Prozess immer nur ein genau definiertes Arbeitsvolumen in gleichmäßigem Rhythmus freigegeben werden. Die *Glättung* des Produktionsvolumens wird dadurch erreicht, dass nicht je Produktionsauftrag unterschiedliche Losgrößen in unterschiedlichen Zeitabständen, son-

dern immer gleiche Mengeneinheiten in gleichen Zeitabständen eingesteuert werden. In einfachen Fällen gleicher Bearbeitungszeiten sind die Stückzahlen als Mengenbasis ausreichend. Adernfalls bezieht man sich auf den Kapazitätsbedarf am Schrittmacher-Prozess.

Mit der Definition einer einheitlichen Freigabeeinheit zur Steuerung des Wertstroms wird der Zeitrahmen von Produktionsplanung und -steuerung festgelegt. Dabei sollte die Größe der Freigabeeinheiten, die in regelmäßigen Abständen am Schrittmacher-Prozess freigegeben werden, möglichst klein gewählt werden, um den Prozessen ein gutes ‚Kundentakt-Gefühl' zu vermitteln. Diese gleichmäßig große Freigabeeinheit wird als *Pitch* bezeichnet und sollte ein ganzzahliges Vielfaches des Kundentaktes betragen. Dadurch ist der Pitch an den Kundenbedarf angebunden. Die zugehörige Gestaltungsrichtlinie lautet:

Gestaltungsrichtlinie 6: *Festlegung des Pitch*

Die Freigabe von Produktionsaufträgen hat in kleinen, einheitlich dimensionierten Umfängen zu erfolgen und so für ein gleichmäßiges Produktionsvolumen zu sorgen.

Festlegung des Pitchintervalls Die Festlegung der Größe des Pitchintervalls ist ausschlaggebend für die erreichbare Flexibilität des Wertstroms, für Aufwand und Effektivität der Planung sowie die Transparenz der Abläufe. Der Pitch sollte nicht zu klein sein, sich im Regelfall also auf mehr als ein Produkt beziehen, damit Planungs- und Steuerungsaufwand überschaubar bleiben. Umgekehrt haben zu großen *Freigabemengen* zahlreiche Nachteile. Wenn Produktionsaufträge mit dem Arbeitsinhalt von mehreren Tagen freigegeben sind, dann befindet sich am Schrittmacher-Prozess auch dementsprechend viel Material. Die Produktion ist vollgestellt, der Shop Floor wird unübersichtlich. Zudem liegen auch die Produktionsdurchlaufzeiten entsprechend hoch, was ein kurzfristiges und flexibles Reagieren auf veränderte Kundenbedarfe nur durch aufwendige Änderungen oder Eilaufträge noch möglich macht. Die zu großen Produktionslose lassen ferner den gegenwärtigen Marktbedarf nicht erkennen, da Bedarfe zur Losbildung zusammengefasst werden müssen.

Um nun den bereits in der Wertstromanalyse ermittelten Kundentakt nicht nur bei der Kapazitätsauslegung der Fließfertigung im Schrittmacher-Prozess zu berücksichtigen, sondern auch als *Taktgeber* für den Wertstrom einzusetzen, muss der Pitch klein genug sein, um den Kundentakt noch erkennen zu lassen. Nur so wird Rhythmus in die Produktion gebracht! Am Ende eines jeden Pitch kann man erkennen, ob die Produktion noch reibungslos funktioniert. Ist der Pitch einen Tag lang, dann gibt es auch täg-

lich nur einen Zeitpunkt, an dem man die Erreichung des Produktionszieles auch wirklich prüfen kann. Bei einem Pitch von dreißig Minuten ist auch nach diesem kurzen Zeitintervall stets im Gesamtablauf der Produktion deutlich erkennbar, ob der geplante Rhythmus noch eingehalten wird oder ob Abweichungen durch Störungen aufgetreten sind.

Die einfachste Berechnung der Größe eines Pitchintervalls erfolgt durch Multiplikation von Kundentakt und Gebindemenge (Abb. 3.48). Als die Freigabeeinheit definierender Gebinde eignet sich besonders der *Fertigwarenbehälter*, sofern er am Schrittmacher-Prozess eingesetzt wird. Dies kann natürlich nur eine Faustregel sein, die von den jeweiligen Gegebenheiten in einer konkreten Produktion abhängig sind. Schließlich muss man aus Gründen der Praktikabilität auch auf glatte Zahlenwerte achten, die den durchschnittlichen Kundenbedarf nur ungefähr treffen. Meist legt man den Schrittmacher-Prozess etwas leistungsstärker aus, als es der Kundenbedarf fordert. Dann ist das Pitchintervall auf Basis der *Zykluszeit* des Schrittmachers zu berechnen, um Verschwendungen im Arbeitstakt zu vermeiden.

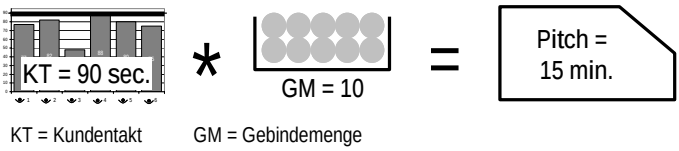


Abb. 3.48. Berechnung des Pitchintervalls

Kunden- und produktspezifische Fertigwarenbehälter gibt es meist dann, wenn die weiterverarbeitende Industrie mit Serienprodukten beliefert wird. Bei Auslieferungen an den Handel wird meist in Kommissionen versendet. Oft gibt es dann ein Fertigwarenlager mit sortenreinen Paletten. Deren Gebindemenge kann dann zur Ermittlung des geeigneten Pitchintervalls herangezogen werden. Erscheint der aus einem Behälter ermittelte Pitch zu klein, dann können auch mehrere Behälter als Grundlage verwendet werden. Möglicherweise ist es auch sinnvoller, fabrikinterne *Transportbehälter* der Produkte oder auch bestimmter Teile als Basis für einen Pitch zu verwenden. Vor allem bei variantenreichen Produktfamilien oder kundenspezifischen Produkten wird man sich nicht auf einen einheitlichen Fertigwarenbehälter beziehen können.

Wenn es sich nicht um Wiederhol- oder Variantenfertigung handelt, ist es oft schwierig, eine Stückzahl als Grundlage für die Pitchermittlung zu verwenden. Bei kundenspezifischer Produktion können beispielsweise die *Belegungszeiten* einer Ressource ausschlaggebend sein. Dabei orientiert man sich am Schrittmacher-Prozess oder, sofern vorhanden, am Engpass-Prozess (Abschn. 3.4.3). Falls der Schrittmacher oder ein Prozess flussab-

wärts in Losen arbeiten muss, dann wird diese *Losgröße* maßgeblich für den Pitch sein. Im Anlagenbau dagegen sind die Stückzahlen der Produkte oftmals so gering, dass sich die Auftragsfreigabe nur auf eine teilweise Erstellung des Produktes beziehen kann, der Pitch also kleiner ist als der Kundentakt. In diesem Fall wird man also jeweils mehrere *Arbeitsgänge* zu einem Pitch zusammenfassen. Der Pitch ähnelt dann einer relativ dichten Abfolge von Meilensteinen im Projektplan.

Produktionsglättung Die Glättung der Kundennachfrage-Schwankungen kann entweder durch den zeitlichen Puffer der Produktionsaufträge in der Warteschlange vor dem Schrittmacher oder aber durch den Fertigwarenbestand im Supermarkt-Lager erfolgen. Die Produktionsglättung in der Warteschlange benötigt man beim direkten Versand (vgl. Abb. 3.45). Hier bedingt die gleichmäßige Freigabe einheitlicher Produktionsmengen als Pitch bei einem schwankenden Kundenbedarf eine unterschiedlich lange *Warteschlange* der Produktionsaufträge. Liegt die Kundennachfrage unter dem Durchschnittsbedarf, dann produziert der Schrittmacher schneller und verkürzt die Warteschlange. Bei starker Kundennachfrage laufen die Aufträge wieder auf und die Warteschlange wird entsprechend länger. Auf diese Weise kann die Belastung der Produktion auf dem Durchschnittsbedarf konstant gehalten werden (Abb. 3.49, Fall 1). Das bedeutet allerdings trotz konstanter Produktionsdurchlaufzeit eine schwankende Auftragsdurchlaufzeit. Wenn die Warteschlange nie zu lang wird, dann wird nur ein Teil der Aufträge termingerecht fertiggestellt, während die anderen Aufträge zu früh fertig werden. Das *Vorziehen* von Aufträgen vor den eigentlichen Bedarfszeitpunkt ist der Preis, den man hier für die Vergleichmäßigung zu zahlen hat.

Alternativ dazu kann man jedoch in Abhängigkeit von der Länge der Warteschlange auch die Kapazität der Produktion beginnend mit dem Schrittmacher flussabwärts dem schwankenden Bedarf anpassen. Entsprechend der Kapazitätsflexibilität wird entweder der *Freigaberhythmus* der Produktionsaufträge geändert – beispielsweise wenn zusätzliche Mitarbeiter am Schrittmacher-Prozess eingesetzt werden können – oder bei konstantem Rhythmus wird der täglich *verfügbare Zeitraum* geändert – beispielsweise durch Überstunden oder Schichtverkürzung. Meist wird die Kapazitätsflexibilität geringer sein als der Schwankungskorridor des Kundenbedarfs. In diesen Fällen kann man beide Instrumente gemeinsam einsetzten, also Aufträge vorziehen und Kapazitäten anpassen. Mit *Lieferverzug* muss man rechnen, wenn der Kundenbedarf über die geplante maximale Schwankungsbreite hinausgeht und so trotz maximaler Kapazitätsausschöpfung die Warteschlange ihr durchlaufzeitbezogenen Maximum überschreitet.

Beim Versenden aus dem Fertigwarenlager übernimmt dieses Lager zugleich die Produktionsglättung, es puffert die Bedarfsschwankung ab (Abb. 3.49, Fall 2). Der schwankende Kundenbedarf kann, sofern der *Fertigwarenbestand* nicht überschritten wird, sofort gedeckt werden. Die Auslieferung erzeugt entsprechend der Kanban-Logik Produktionsaufträge. Diese werden nun nicht direkt nach Lagerentnahme zum Schrittmacher gebracht, sondern in einer Warteschlange gesammelt und dann im festen Rhythmus pitchweise freigegeben. Dadurch erfolgt eine gleichmäßige Belastung der Produktion. Ähnlich wie im ersten Fall (Abb. 3.49, Fall 1) kann auch hier die Kapazität den Schwankungen in gedämpftem Umfang nachgefahren werden, um den notwendigen Lagerbestand zu reduzieren.

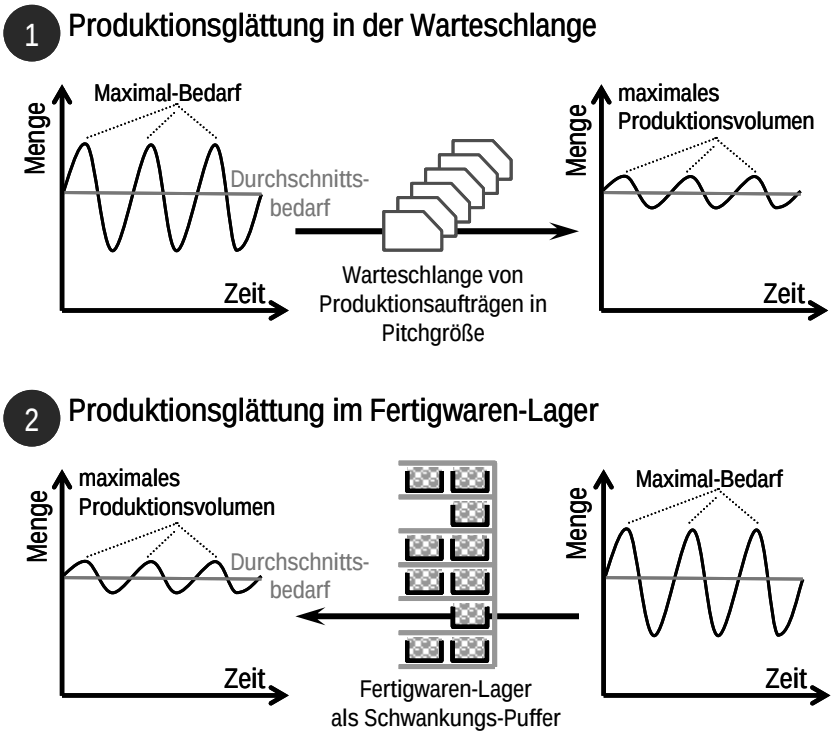


Abb. 3.49. Glättung der Kundennachfrage

Bei der *Auslegung* eines Fertigwaren-Supermarkt-Lagers sind grundsätzlich die drei Bestandsarten Umlaufbestand, Pufferbestand sowie Sicherheitsbestand zu unterscheiden (vgl. Gl. 3.4). Der Umlaufbestand entspricht der Menge, die den durchschnittlichen Bedarf über die Wiederbeschaffungszeit hinweg abdeckt. Der Pufferbestand dient dem Ausgleich von Kundenbedarfsschwankungen, die über die Kapazitätsflexi-

bilität des Schrittmacher-Prozesses hinausgehen. So schirmt das Fertigwarenlager die Produktion von den mittelgroßen Schwankungen der Kundennachfrage ab. Der Sicherheitsbestand schließlich ist erforderlich bei internen Problemen wie längeren Maschinenstörungen oder erhöhtem Ausschuss, die zur Unterbrechung des Produktionsflusses führen. Der Zugriff auf den Sicherheitsbestand sollte den Mitarbeitern nur erschwert möglich sein, damit die jeweiligen Produktionsprobleme auch augenfällig werden. Nur so kann ein Druck zur ständigen Verbesserung erzeugt werden. Die drei Bestandsarten sind aus unterschiedlichen Gründen erforderlich, die sich im Verlauf der Zeit auch unterschiedlich verändern können. Daher sollte man sie auch getrennt voneinander auf ihre korrekte Größe hin regelmäßig überprüfen.

3.4.2 Ausgleich des Produktionsmix

Mit der Produktionsnivellierung wird der Produktionsfluss hinsichtlich des Volumens auf gleichmäßige Pitchintervalle gebracht (Abschn. 3.4.1). Die Produktionsplanung hat, sofern es mehr als eine Produktvariante gibt, noch eine zweite Aufgabe, nämlich die Festlegung der Auftragsreihenfolge. Sofern also die Produktionsaufträge nicht alle identisch sind, muss auch ihre Reihenfolge geplant werden. Bei dieser *Reihefolgebildung* der Pitchintervalle geht es in der Regel um die Festlegung der Abfolge unterschiedlicher Produktvarianten. Zielsetzung hierbei ist es nun, mit der Reihenfolgebildung einen *Produktionsausgleich* zu erreichen. Ausgleich des Produktionsmix heißt, nach jedem Pitch die Variante zu wechseln. Die Gestaltungsrichtlinie zur Reihenfolgebildung lautet entsprechend:

> Gestaltungsrichtlinie 7: *Produktionsmix-Ausgleich*
>
> Die Reihenfolge von Produktionsaufträgen ist hinsichtlich der Varianten gut zu durchmischen.

Funktionslogik Die unmittelbare Auswirkung des Produktionsausgleichs ist die Vergleichmäßigung der variantenbezogenen Nachfrage von Teilen beim jeweiligen Lieferprozess. Zudem ist eine schnellere Erfüllung von Bedarfen möglich, die die gerade nicht produzierte Variante betreffen. So kann im Prinzip nach jedem Pitch, der ein sehr kurzes Zeitintervall umfassen sollte (Abschn. 4.3.1), wieder etwas anders produziert werden. Die möglichst gleichmäßige *Durchmischung der Varianten* lässt die Sammlung von Produktionsaufträgen für gleiche Varianten zu Losen nicht zu (Abb. 3.50). Ein Pitch entspricht also der exakt einzuhaltenden Losgröße jeder Variante am Schrittmacher-Prozess. Nach jedem Pitch ist die Variante zu

wechseln, in der Abbildung dürfen daher die mit geometrischen Formen symbolisierten Varianten nicht aneinandergereiht werden, sondern müssen sich in möglichst gleichmäßiger Verteilung abwechseln. Damit sind dann die entsprechenden Anforderungen an die Rüstzeit gestellt: Sie muss zur Länge des Pitchintervalls passen.

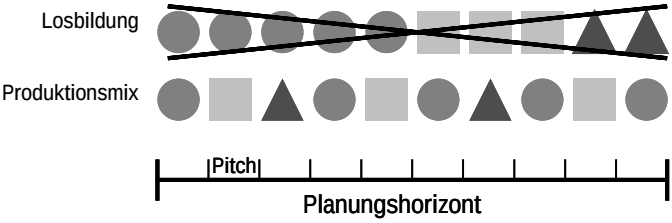


Abb. 3.50. Ausgleich des Produktionsmix

Die Reihenfolge der Produktionsaufträge kann mit Hilfe des *Ausgleichskastens* –japanisch auch ‚Heijunka-Box' genannt – vergleichmäßigt werden. Der physisch realisierte Ausgleichkasten besteht beispielsweise aus Fächern, deren Anordnung in Spalten das jeweilige Pitch und deren Zeile die jeweilige Produktvariante festlegen. In diesen Fächern können nun die Produktionsauftragskarten – das können auch Kanban sein – gleichmäßig verteilt werden (Abb. 3.51). Die Heijunka-Box ist ein sehr einfaches Hilfsmittel für den Ausgleich des Produktionsmix. Durch den Bezug auf die Pitchintervalle erfolgt gleichzeitig immer auch die Glättung des Produktionsvolumens (Abschn. 3.4.1). Die im Ausgleichskasten eingeordneten und damit in ihrer Reihenfolge und dem Freigabetermin festgelegten Produktionsaufträge werden typischerweise über den Logistiker in die Produktion eingesteuert. Dieser entnimmt in festen zeitlichen Abständen – nämlich dem Pitchintervall – dem Ausgleichskasten den jeweils nächsten Auftrag und stellt ihn dem Schrittmacher-Prozess zu.

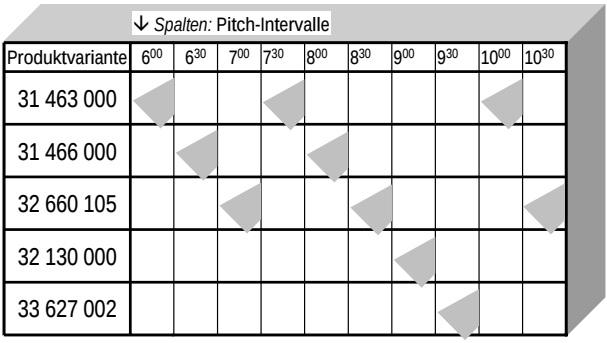


Abb. 3.51. Ausgleichskasten

Die Verwendung eines Ausgleichskastens beziehungsweise einer entsprechenden Planungslogik setzt den Bezug auf einen bestimmten Zeitraum voraus, den *Planungshorizont* (Abb. 3.50). Der Produktionsausgleich erfolgt dann über diesen Zeitraum, beispielsweise über eine Schicht. Für jedes Pitch innerhalb des Planungshorizontes wird ein Produktionsauftrag eingeplant, wobei die Reihenfolge eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Varianten über die Schicht gewährleisten muss. Der Planungshorizont bildet die ‚Frozen Zone' der Auftragsreihenfolge, die nicht mehr geändert werden sollte. Als Symbol für den Ausgleich des Produktionsmix verwendet man die rechteckig umrandete, doppelte Abfolge von O und X in Verbindung mit einem Informationsflusspfeil (Abb. 3.52). Direkt daneben trägt man die Größe des Planungshorizontes (PH) ein. Dieser wird durch einen Zeitraum, wie eine Schicht oder ein Tag, oder aber durch die Anzahl der jeweils geplanten Pitchintervalle angegeben.

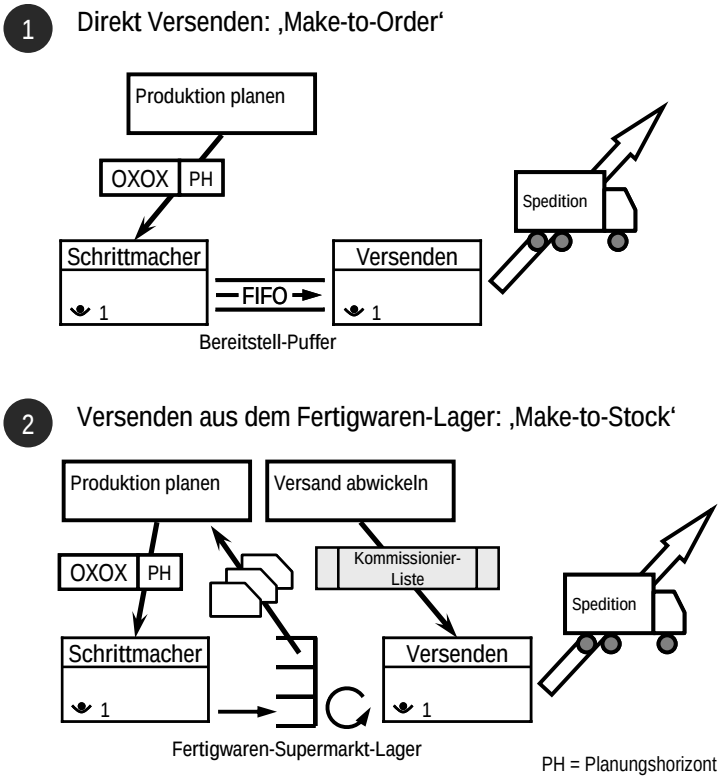


Abb. 3.52. Produktionsausgleich beim Versenden

Entsteht für eine Produktvariante ein dringlicher Bedarf, dann kann er in den jeweils nächsten Planungshorizont eingeplant werden, ohne zusätzlichen Aufwand zu erzeugen. Da die Warteschlange der Aufträge in der Regel um einiges größer als der Planungshorizont ist, bestehen bei diesem Planungsprinzip *Eilaufträge* lediglich darin, dass sie sich in der Warteschlange vordrängeln. In der Produktion selbst gibt es somit keine Eilaufträge und auch keine Terminjäger. Da aber auch innerhalb des in Abarbeitung befindlichen Planungshorizontes niemals mehr als ein Auftrag freigeben werden sollte, könnte sogar ein besonders dringlicher Bedarf sofort mit dem nächsten Pitch eingesteuert werden. Diese Änderung würde allerdings einen zusätzlichen Planungsaufwand erzeugen, da ein bereits in Reihenfolge gebrachter Auftrag wieder in die Warteschlange zurückgestellt werden müsste. Aber auch in diesem Extremfall kann auf dem Shop Floor beständiger Normalbetrieb gewährleistet werden, da alle Turbulenzen bereits in der Planung abgefangen werden.

Je nach *Versandprinzip* (vgl. Abb. 3.45) setzt der Produktionsmixausgleich an anderer Stelle an. Kundenbezogene Produktionsaufträge sind entsprechend des jeweiligen Liefertermins beziehungsweise Kundenwunschtermins in den richtigen Planungshorizont einzuordnen. Die passend zur jeweiligen Dringlichkeit von der Produktionsplanung erzeugte Sequenz wird am Schrittmacher-Prozess eingesteuert. Die Produkte werden nach Fertigstellung direkt versendet (Abb. 3.52, Fall 1). Werden die Produkte hingegen aus dem Fertigwarenlager geliefert, dann handelt es sich bei den Produktionsaufträgen um Versand-Kanban (Abb. 3.52, Fall 2). Die aus dem Versandlager geschickten Karten werden in der Produktionsplanung gesammelt. Zum Produktionsausgleich ist eine Anzahl Kanban entsprechend der Größe des Planungshorizontes der Warteschlange zu entnehmen, und zwar die Varianten jeweils entsprechend ihrer relativen Häufigkeit in der Warteschlange. Die gebildete Reihenfolge der Kanban wird anschließend beim Schrittmacher-Prozess eingesteuert, der dann die Produkte fürs Fertigwaren-Supermarkt-Lager herstellt.

Großaufträge Für einen Variantenfertiger typisch ist eine Mischung aus vielen kleinen Kundenaufträgen, die sich in wenigen Pitchintervallen abarbeiten lassen, sowie einigen Großaufträgen. Bei letzteren liegt die Kundenbestellung für eine Variante in der Größenordnung des gewählten Planungshorizontes, so dass kein Variantenmix eingesteuert werden kann und die Produktion für längere Zeit durch einen Auftrag belegt wäre. Neben dem Nachteil einer einseitigen, unausgeglichenen Belastung der Produktion wären dann auch alle anderen Kundenaufträge blockiert. Günstig in diesem Fall ist es, den Planungshorizont für Großaufträge in passender Größe zu wählen. Bei *verlängerter Lieferzeit* für Großmengen kann ein

Teil des in Pitchintervalle zerlegten Kundenauftrags zurückgehalten werden, so dass es genug Lücken für Kleinaufträge gibt. Man muss also entweder die Warteschlange – und damit die Lieferzeit – ausreichend verlängern, damit wieder mehrere Kundenaufträge gemischt werden können, oder aber auf den Produktionsausgleich verzichten.

Anders sind die Lösungsmöglichkeiten, wenn Großaufträge ab Fertigwarenlager bedient werden sollen. Bei unmittelbarer Entnahme aus dem Lager wäre in der Produktion wiederum kein Produktionsausgleich möglich. Wenn gar das Auftragsvolumen größer ist als der für die üblichen kleinen und mittleren Bestellmengen vorgehaltene Bestand, ist der Auftrag zudem gar nicht ausführbar. Nun einfach auf Teillieferung auszuweichen, ist im Regelfall vom Kunden nicht gewünscht und aufgrund der Transportkosten auch zu teuer. Stattdessen könnte man den Auftrag stückchenweise über mehrere Tage hinweg aus dem Fertigwarenlager bereitstellen und dann am Liefertermin verladen. Das setzt entsprechende Bereitstellflächen und eine gute Organisation voraus. Die elegantere Lösung ist wohl die Verwendung von Sonder-Kanban (Abschn. 3.3.2.1). Dabei werden vor Auslieferung zusätzliche, nur einmal verwendbare Kanban in die Warteschlange untergemischt. Dadurch entsteht langsam ein entsprechender *Sonderbestand* im Fertigwarenlager, der dann bei Auslieferung automatisch wieder abgebaut wird.

Kombinierte Planung und Steuerung In der Variantenfertigung mit gängigen und exotischen Varianten erscheint oft eine *kombinierte Steuerung mit Volumenlager* vorteilhaft. Bei dieser Lösung werden die beiden oben dargestellten Standard-Fälle des direkten Versands sowie des Versands aus dem Supermarkt-Lager kombiniert (vgl. Abb. 3.52). Durch Kombination der Produktion von Fertigwaren auf Lager sowie der Produktion auf Kundenbestellung mit den gleichen Ressourcen weist ein Wertstrom *zwei Einsteuerungspunkte* auf. Dabei ist jeder Produktvariante genau ein Steuerungsverfahren zuzuordnen. Die Zuordnung erfolgt entsprechend der ABC-Klassifizierung (Abschn. 3.1.1) einer Variante. So werden alle regelmäßig und/oder in größeren Mengen benötigten Varianten ‚Standard' ab Fertigwarenlager (FWL) versendet und über Kanban aus dem Halbfabrikatelager (HF) nachproduziert (Abb. 3.53). Selten und/oder in geringen Stückzahlen benötigte Varianten ‚Exot' oder aber auch kundenspezifisch variierte Artikel werden nach Kundenbedarf flussaufwärts eingesteuert und direkt versendet. Die Einsteuerung der Aufträge erfolgt über den Ausgleichskasten.

In dieser kombinierten Lösung übernimmt das Supermarkt-Lager die Funktion des *Volumenausgleichs*. Bei hoher Nachfrage werden die Standardprodukte dem Fertigwaren-Supermarkt entnommen, wodurch genü-

gend Kapazität bleibt, alle anderen zeitgleich bestellten Varianten kundenauftragsbezogen zu produzieren. An Tagen mit geringer Nachfrage wird der Supermarkt wieder aufgefüllt und dazu die nun freie Kapazität genutzt. Diese kombinierte Lösung ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn die Lieferzeit so kurz ist, dass ein Ausgleich der Volumenschwankung über die Warteschlange nicht möglich ist. Andernfalls ist es im Regelfall vorzuziehen, alles kundenauftragsbezogen zu produzieren.

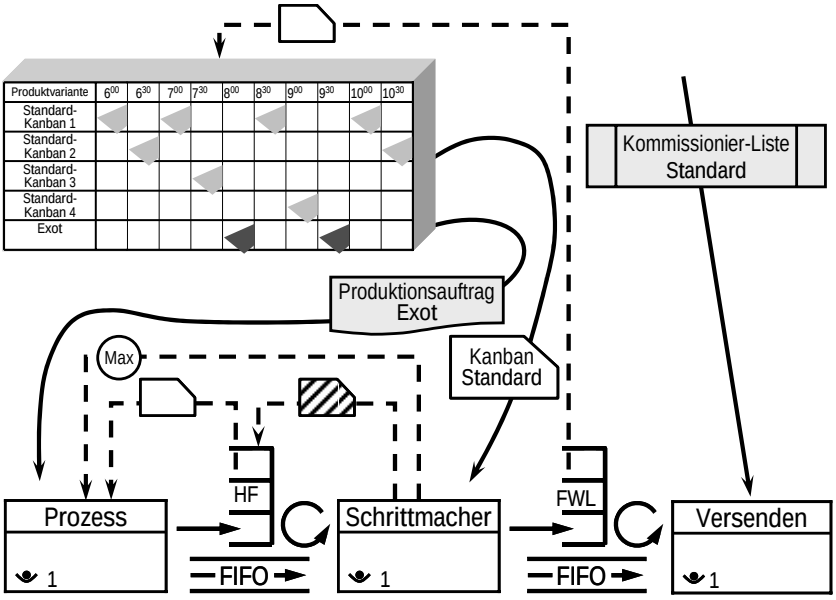


Abb. 3.53. Kombiniert gesteuerte Produktion

Im Grunde verstößt die kombinierte Lösung gegen die fünfte Gestaltungsrichtlinie, die nur einen Einsteuerungspunkt zulässt. Da jedoch für jede Produktvariante eine eindeutige Zuordnung erfolgt, liegen eigentlich zwei verschiedene Wertströme vor, die lediglich die gleichen Ressourcen nutzen. Somit wird der Gestaltungsrichtlinie im Prinzip also entsprochen. Die besondere Schwierigkeit des kombinierten Systems, zwei Einsteuerungspunkte *koordinieren* zu müssen, bleibt jedoch bestehen. Jeder Produktionsprozess erhält Steuerungsinformationen von jeweils zwei unterschiedlichen Stellen. Der Schrittmacher-Prozess erhält Kanban für kundenanonym herzustellende Fertigware von der Produktionsplanung sowie kundenbezogene Aufträge auf der FIFO-Bahn vom vorgelagerten Prozess. Der vorgelagerte Prozess erhält kundenauftragsbezogene Produktionsaufträge sowie Kanban aus dem nachfolgenden Lager mit Halbfabrikaten (HF). Da sich die relative Häufigkeit der Auftragsarten ändert, kann

in beiden Fällen nicht mit *Zeitscheiben* fixer Ressourcenzuordnung zu Auftragsarten gearbeitet werden. Stattdessen ist immer den kundenauftragsbezogenen Aufträgen die höhere *Priorität* zu geben, damit eine stabile Durchlaufzeit gewährleistet werden kann. Das Kanban-System muss so dimensioniert sein, dass es etwaige Wartezeiten der Standardprodukte auf freie Kapazität ausgleichen kann. Durch die kombinierte Steuerung wird im Vergleich zur Standard-Lösung mit komplettem Fertigwarenlager der Bestand bei sonst unveränderten Bedingungen eher geringfügig verringert, da die stückzahlstarken Artikel ja weiterhin aus dem Lager bedient werden. Da aber aus dem Fertigwarenlager ein Großteil der Varianz entfernt ist, wird es einfacher zu verwalten und dichter zu packen sein.

In der kombinierten Steuerung vorausgesetzt ist, dass es von den kundenauftragsbezogenen exotischen Varianten keine zu lagernden Restmengen gibt. Kundenbestellmenge und Pitchgröße müssen also immer im ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Ist das nicht möglich, kann man auch den umgekehrten Weg wählen, und nur die Varianten mit geringem Kundenbedarf lagern, während die Volumenprodukte kundenauftragsorientiert produziert werden. Bei dieser *kombinierten Steuerung mit Variantenlager* hat das Fertigwarenlager einen jeweils geringen Bestand zahlreicher Artikel. Da bei exotischen Varianten die Kundenbestellmenge kleiner als der Pitch ist, enthält das Fertigwarenlager lediglich die jeweiligen Restmengen. Eine Glättung des Produktionsvolumens kann dann aber nicht mehr vom Lager, sondern nur von der Warteschlange übernommen werden.

Vier Systeme der Planung und Steuerung Für die Planung und Steuerung einer schlanken Produktion gibt es vier verschiedene Möglichkeiten, die sich aus unterschiedlicher Kombination der beiden grundlegenden Versandprinzipien Direktversand und Versand-Kanban ableiten lassen. Sie sollen im Folgenden hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten einander gegenübergestellt werden.

1. Im ersten Standardfall werden alle Produkte kundenauftragsbezogen gefertigt und direkt versendet (vgl. Abb. 3.45, Fall 1). Die Produktionsglättung bei der *Steuerung mit Direktversand* erfolgt in der Warteschlange der Produktionsaufträge (vgl. Abb. 3.49, Fall 1). Der Produktionsausgleich erfolgt durch eine gleichmäßige Verteilung des Variantenmix im Planungshorizont, in den die nach terminlicher Dringlichkeit ausgewählten Produktionsaufträge eingeordnet werden (vgl. Abb. 3.52, Fall 1). Diese Lösung führt zu einem *minimalen Bestand*, der sich nur aus etwaigen Produktionslosgrößen sowie der gegebenenfalls zur Taktabstimmung erforderlichen Länge der FIFO-Bahnen zusammensetzt. Sie ist die einzige Lösungsmöglichkeit bei

einer *kundenspezifischen* Produktion. Diese Möglichkeit ist die *ideale Lösung* für jede Produktion, sofern dem keine Restriktionen durch Rüstzeiten, Lieferzeiten oder zu geringe Kapazitätsflexibilität entgegenstehen.

2. Im zweiten Standardfall werden alle Produkte kundenanonym vorgefertigt und dann ab Fertigwarenlager versendet (vgl. Abb. 3.45, Fall 2). Die Produktionsglättung bei der *Steuerung mit Versand-Kanban* erfolgt durch das Fertigwarenlager (vgl. Abb. 3.49, Fall 2). Der Produktionsausgleich erfolgt durch eine gleichmäßige Verteilung des Variantenmix der zur Nachproduktion ausgelösten Kanban im Planungshorizont (vgl. Abb. 3.52, Fall 2). Diese Lösung führt zu einem vergleichsweise hohen Bestand und eignet sich umso besser, je weniger Produktvarianten es gibt. Sie ist meist die einzige Möglichkeit zur verlässlichen Realisierung *kurzer Lieferzeiten*. Sie muss ferner dann gewählt werden, wenn Produktionslosgrößen ab dem Schrittmacher-Prozess und Kundenbestellmengen nicht in Übereinstimmung zu bringen sind. Diese Möglichkeit ist meist die beste Lösung für eine *variantenarme* Produktion.
3. Bei der *kombinierten Steuerung mit Volumenlager* werden stückzahlstarke Produkte kundenanonym vorgefertigt und stückzahlschwache Produkte kundenauftragsbezogen gefertigt (vgl. Abb. 3.53). Die Produktionsglättung erfolgt wie beim zweiten Standard-Fall durch das Fertigwarenlager. Der Produktionsausgleich erfolgt durch Mischung beider Auftragstypen, das heißt von kundenbezogenen Produktionsaufträgen und Kanban, sowie deren überlagerten Einsteuerung. Diese Lösung hält den erforderlichen Fertigwarenbestand bei *variantenreicher* Produktion in realisierbaren Grenzen und ermöglicht dabei kurze Lieferzeiten. Aufgrund der problematischen Steuerung sollte man aber prüfen, ob nicht eine stückzahlbezogene Segmentierung möglich ist, damit nach den beiden Standard-Fällen getrennt gesteuert werden kann. Bei den stückzahlschwachen Produkten kann es zudem Probleme bei der Abstimmung von Kundenauftragsmengen und Pitchgröße respektive Losgröße geben.
4. Bei der *kombinierten Steuerung mit Variantenlager* werden stückzahlschwache Produkte kundenanonym vorgefertigt und stückzahlstarke Produkte kundenauftragsbezogen gefertigt. Die Produktionsglättung erfolgt wie beim ersten Standard-Fall in der Warteschlange. Der Produktionsausgleich erfolgt durch Mischung beider Auftragstypen und deren überlagerte Einsteuerung. Diese Lösung führt zu einem Fertigwarenlager mit minimalem Bestand, der auch losgrößenbedingte Restmengen aufnehmen kann. Zur Produktionsglättung ist jedoch eine hinreichend *lange Lieferzeit* gerade bei den Standardpro-

dukten erforderlich. Diese Lösungsmöglichkeit ist nur dann sinnvoll, wenn aufgrund hoher Rüstzeiten am Schrittmacher-Prozess der erste Standard-Fall nicht für stückzahlschwache Varianten gewählt werden kann.

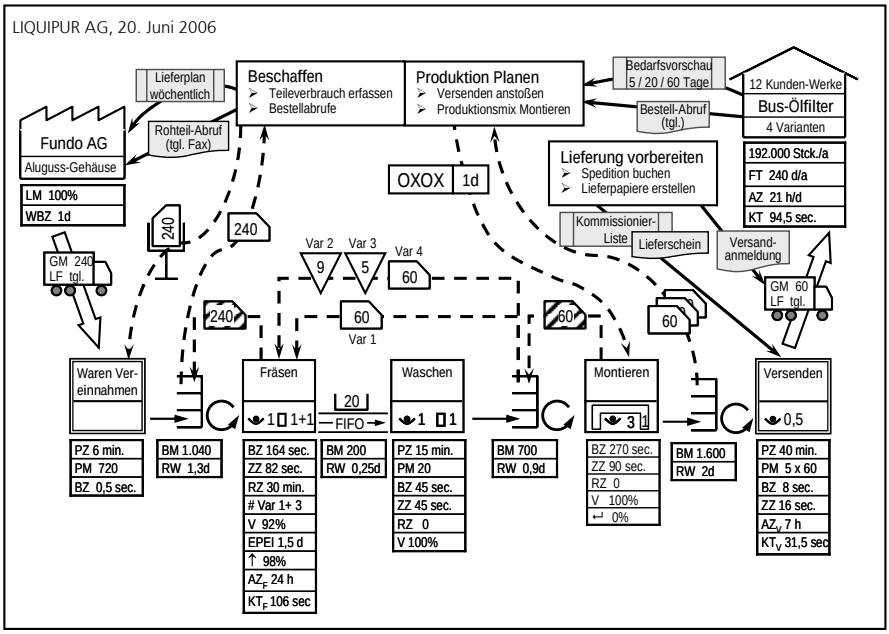


Abb. 3.54. Wertstromdesign bei Liquipur (5): Produktionssteuerung

Fallbeispiel Für Liquipur ist wegen der geringen Variantenanzahl sowie der kurzen Lieferzeit die Steuerung mit Versand-Kanban am besten geeignet (Abb. 3.54). Einmal täglich werden dem Fertigwarenlager entsprechend des Bestellabrufes vom Kunden die zu liefernden Produkte in Behältern zu je 60 Stück entnommen. Diese Gebindemenge, die auch bereits als Kanban-Menge definiert worden ist, bestimmt auch den Pitch. Nach Multiplikation mit der Zykluszeit des Schrittmacher-Prozesses von 90 Sekunden ergeben sich für den Pitch 90 Minuten, also eineinhalb Stunden. Im Dreischichtbetrieb können so täglich bis zu 14 Kanban abgearbeitet, also maximal 840 Ölfilter montiert werden. Da der Durchschnittsbedarf mit 800 Stück niedriger liegt, kann es nach Tagen mit geringen Bestellabrufen verkürzte oder freie Schichten geben. Der Planungshorizont des Ausgleichskastens für die vier Varianten entspricht einem Tag mit 14 Pitchintervallen.

3.4.3 Engpass-Steuerung und Restriktionen

Mit Nivellierung des Produktionsvolumens und Ausgleich des Produktionsmix ist die Planungslogik für Produktionen mit gleichem Kapazitätsangebot an jedem Produktionsprozess komplett. In vielen Produktionen wird man es jedoch mit einem mehr oder weniger unterschiedlichen Kapazitätsangebot an jedem Produktionsprozess zu tun haben. Daraus ergibt sich eine weitere Aufgabe für die Produktionsplanung. Die Frequenz der Auftragsfreigabe muss sich am Produktionsprozess mit der kleinsten Kapazität orientieren, damit es zu keinen Stauungen im Produktionsfluss kommt. Falls dieser leistungsschwächste Prozess zugleich der Schrittmacher-Prozess ist, sind keine weiteren Planungsaufgaben erforderlich. In allen anderen Fällen liegt im Wertstrom ein *Engpass* vor, der bei der Steuerung zu berücksichtigen ist. Erst bei Vorliegen eines entsprechenden Freigabesignals vom Engpass-Prozess darf dann der nächste Auftrag freigegeben werden. Die Gestaltungsrichtlinie zur Engpass-Steuerung lautet entsprechend:

Gestaltungsrichtlinie 8: *Engpass-Steuerung*

Die Freigabe von Produktionsaufträgen ist gegebenenfalls abhängig von den nachgelagerten Engpass-Prozessen zu regeln.

Kapazitätsprofile Zum Verständnis der Funktionsweise eines Engpasses ist die Betrachtung des Kapazitätsprofils eines Wertstroms hilfreich. Mit dem Profil wird das Kapazitätsangebot eines Produktionsprozesses durch die Breite des dem Materialfluss an dieser Stelle zur Verfügung stehenden ‚Kanals' symbolisch dargestellt (Abb. 3.55). Dieser Kanal entsteht durch Aneinanderreihung der Kapazitäten entlang des Produktionsflusses. Im idealen Wertstrom haben alle Prozesse die gleiche Kapazität, so dass die Begrenzungslinien parallel verlaufen. In der Fabrik werden selten alle Produktionsprozesse wirklich die genau gleiche Kapazität haben können. Das *beste Kapazitätsprofil* unter diesen realen Bedingungen stellt dem Schrittmacher-Prozess die kleinste Kapazität zur Verfügung (Abb. 3.55, Fall 1). Dadurch ist gewährleistet, dass alle eingesteuerten Aufträge sowohl von den vorgelagerten Produktionsprozessen als auch von den Folgeprozessen problemlos bearbeitet werden können.

Falls aber der Einsteuerungspunkt einmal nicht am Prozess mit der kleinsten Kapazität liegt, dann gibt es an anderer Stelle im Wertstrom einen Engpass. Wenn dieser flussabwärts vom Schrittmacher liegt, dann kommt die *Engpass-Steuerung* zum Einsatz (Abb. 3.55, Fall 2). Eine Ignorierung des Engpasses würde hier zur Überproduktion führen, weil am Schrittmacher mehr Aufträge freigegeben würden, als dann schließlich in

der Folge abgearbeitet werden könnten. Der umgekehrte Fall, dass flussaufwärts vor dem Schrittmacher ein Engpass liegt, sollte unbedingt vermieden werden, da er unweigerlich zum wiederholten Abriss des Materialflusses führt. Falls diese Situation gegeben ist, sollte man die Kapazität des Schrittmachers durch Senkung seiner Betriebszeit gewissermaßen künstlich reduzieren, ihn also zum Engpass wie beim ersten Fall machen.

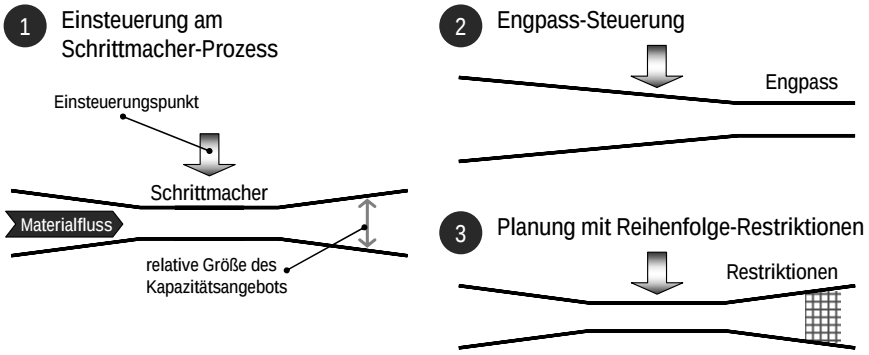


Abb. 3.55. Kapazitätsprofile des Wertstroms

Bei der Engpass-Steuerung unterliegen die am Schrittmacher-Prozess freigegebenen Aufträge einer von einem Folgeprozess vorgegebenen kapazitativen Einschränkung. Das entsprechend der sechsten Gestaltungsrichtlinie nivellierte Freigabevolumen wird hierbei kapazitativ zusätzlich reglementiert. Die Folgeprozesse können jedoch auch in anderer Hinsicht restriktiv wirken, indem sie nämlich Einschränkungen für die entsprechend der siebten Gestaltungsrichtlinie zu wählenden Reihenfolge machen. In Abhängigkeit von den restriktiv wirkenden Ressourcen und dem aktuellen Auftragsbestand kann dann ein bestimmter Variantenmix erforderlich sein. Ein typischer Fall ist die Chargen-Bildung, bei der ganz bestimmte Produktvarianten zu jeweils einem Los gesammelt eingesteuert werden müssen. Bei der *Reihenfolgebildung nach Restriktionen* ist ein gewisser Grad an Überkapazität erforderlich, da andernfalls durch die Überlagerung kapazitativer und produktionsprozessbedingter Restriktionen für einige Aufträge unkalkulierbar lange Wartezeiten auftreten würden (Abb. 3.55, Fall 3). Technologische Restriktionen flussaufwärts vom Einsteuerungspunkt zeigen sich in optimalen Rüstreihenfolgen. Diese Anforderungen sind mit einer Kanban-Regelung nur bedingt verträglich, da Kanban am besten nach den rein zeitlichen Kriterien der Reihenfolge des Eintreffens der Karten funktioniert (Abschn. 3.3.2). Hier wird man Rüstverluste gegen unkalkulierbare Wiederbeschaffungszeiten abwägen müssen – oder am besten die Reihenfolgerestriktionen beim Rüsten beseitigen.

Beim Kapazitätsprofil eines Wertstroms können also drei *steuerbare* Fälle unterschieden werden:

1. Standard-Fall: Einsteuerung am Schrittmacher-Prozess, der zugleich der Engpass ist.
2. Engpass-Steuerung: Der Engpass liegt flussabwärts und wird bei der Auftragsfreigabe berücksichtigt.
3. Reihenfolgebildung nach Restriktionen: Einsteuerung am Schrittmacher-Prozess, der zugleich der Engpass ist, unter Berücksichtigung von Reihenfolge-Restriktionen flussabwärts liegender Prozesse.

Engpass-Steuerung Aufgabe der Engpass-Steuerung ist die Anpassung der Produktion an die Kapazität des vom Schrittmacher-Prozess aus gesehen flussabwärts liegenden kapazitativen Engpasses. Die Engpass-Steuerung ist auch als *Drum-Buffer-Rope-Steuerung* (Goldratt 1995) bekannt und lässt sich in ihrer Funktionsweise mit der Wertstromsymbolik sehr gut darstellen (Abb. 3.56). Der Engpass – hier markiert durch eine Schraffur – übernimmt hier gewissermaßen als ‚Trommel' die Rolle des Taktgebers. Jeweils nach Fertigstellung eines Produktionsauftrags (Pitch) gibt der Engpass-Prozess ein Signal, symbolisiert durch den ConWIP-Kreis, an die Produktionsplanung. Dieses gestattet dann die Freigabe des nächsten Auftrages. So wird Überproduktion an den leistungsfähigeren Prozessen verhindert. Die Frequenz der Auftragsfreigabe und die Zykluszeit am Engpass-Prozess werden synchronisiert. Die auf Freigabe in Warteschlange und Freigabehorizont wartenden Aufträge hängen am ‚Strang', den die Engpass-Steuerung hinter sich herzieht. Die entsprechend Auftragsreihenfolge wird mit dem OXOX-Ausgleichssymbol unter Angabe des zugehörigen Planungshorizonts dargestellt. Die freigegebenen Aufträge gelangen schließlich über FIFO-Bahnen zum Engpass-Prozess und stauen sich im Puffer vor dem Engpass. Dadurch ist gewährleistet, dass dem Engpass immer Material zur Bearbeitung zur Verfügung steht.

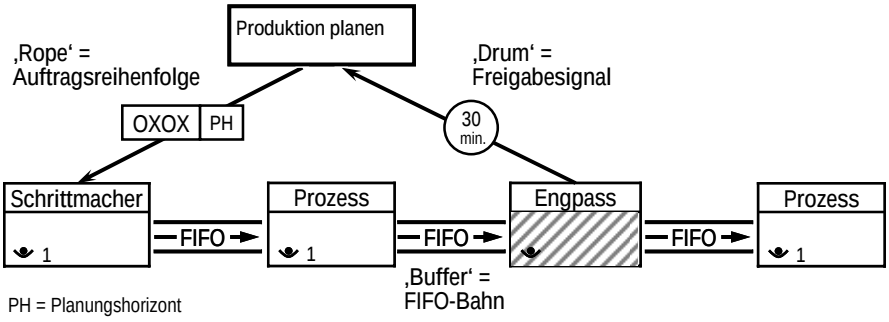


Abb. 3.56. Engpass-Steuerung

Zielsetzung der Engpass-Steuerung ist es, eine möglichst hohe *Auslastung* am Engpass zu erreichen. Jede dort verlorene Fertigungsminute fehlt der ganzen Produktion. Ein Leerlauf am Engpass bedeutet im Grunde, die Fabrik kurzzeitig stillzulegen. Umgekehrt bringt jegliche temporäre Auslastungserhöhung an den anderen Nicht-Engpass-Prozessen für den Wertstrom keinen Vorteil. Auch kleine Leistungsverbesserungen dieser Prozesse durch Investitionen sind im wesentlichen Verschwendung, da die Produktionsmenge insgesamt dadurch nicht erhöht werden kann. Man kann sie allenfalls mit den eingesparten Mitarbeitern gegenrechnen. Eine Investition am Engpass wäre jedoch ungleich effektvoller.

Wenn die *Ausbringung der Fabrik* ausschließlich vom Engpass abhängig ist, dann muss insbesondere dessen Ausbringung maximiert werden. Dies kann unterstützt werden durch ein effizientes Störungsmanagement, das bei Instandhaltung und Reparatur den Engpass-Ressourcen immer die höchste Priorität einräumt und auch die Unterbrechung anderer Arbeiten rechtfertigt. Außerdem gilt es, den Rüstzeitanteil zu reduzieren – entweder durch Rüstzeitverkürzung oder Losvergrößerung oder beides. Mit der Vergrößerung der Lose gerät man jedoch schnell in Widerspruch zu den entsprechend der anderen Gestaltungsrichtlinien getroffenen Maßnahmen zur Bestandsreduzierung und Flexibilitätserhöhung. Diesen Lösungsansatz sollte man also nur sehr behutsam verfolgen. Insgesamt gilt, dass die Kapazität des Wertstroms am Engpass entschieden wird: Zykluszeiten, Rüstzeiten und Losgrößen dieses Prozesses legen die erreichbare Jahresstückzahl fest.

Reihenfolgebildung nach Restriktionen Wird durch einen flussabwärts liegenden Produktionsprozess nicht das Stückzahlvolumen begrenzt, sondern werden Restriktionen für die Reihenfolgebildung vorgegeben, dann gilt folgende Gestaltungsrichtlinie:

Gestaltungsrichtlinie 9: *Reihenfolgebildung nach Restriktionen*

Die Reihenfolge von Produktionsaufträgen ist gegebenenfalls abhängig von technologischen Restriktionen der nachgelagerten Produktionsprozesse zu planen.

Ähnlich wie bei der Engpass-Steuerung gibt der *restriktive Prozess* – hier markiert mit einem Gittermuster – ein Freigabesignal an die Produktionsplanung (Abb. 3.57). Dieses Freigabesignal ist aber zusätzlich noch mit den jeweiligen technologischen Anforderungen verbunden, die bei der jeweils nächsten Auftragsfreigabe zu berücksichtigen sind. Die symbolische Darstellung der Reihenfolgerestriktionen ist eine Kombination aus dem ConWIP-Kreis und dem OXOX-Ausgleichssymbol. Die Produktionspla-

nung klassifiziert alle eingehenden Aufträge entsprechend der Merkmale, auf die sich die technologischen Restriktionen beziehen. Deshalb sind alle Kundenaufträge so in Produktionsaufträge umzusetzen, dass eine sortenreine Klassifikation möglich ist. Für den nun signalisierten Auftragstyp werden die jeweils dringlichsten Produktionsaufträge freigegeben. Innerhalb eines Auftragstyps kann es durchaus unterschiedliche Varianten geben, da ja zunächst nur die restriktiven Merkmale geprüft werden. Wenn es verschiedene Varianten gibt, dann ist noch eine zweite, untergeordnete Reihenfolgebildung durchzuführen. Die resultierende Sequenz wird dann am Schrittmacher-Prozess freigegeben (OXOX-Symbol). Der Planungshorizont entfällt hier, da er vom Freigabesignal des restriktiven Prozesses bereits vorgegeben ist.

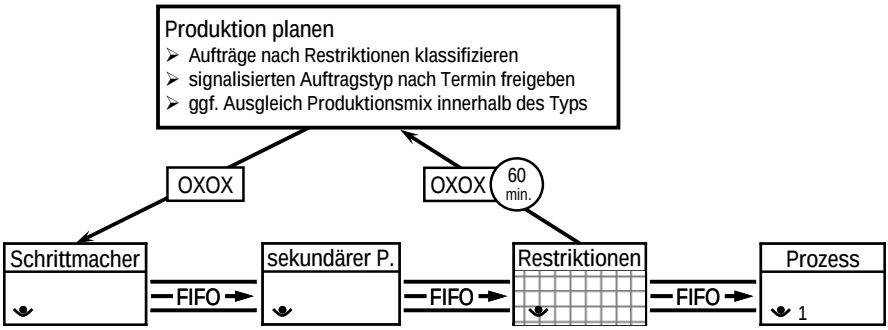


Abb. 3.57. Reihenfolgebildung nach produktionsprozessbedingten Restriktionen

Reihenfolge-Restriktionen können sich entweder auf den im Planungshorizont *zulässigen Variantenmix* beziehen oder für eine flussabwärts erfolgende *Losbildung* erforderlich sein. Zu unterscheiden sind dabei jeweils zwei Typen, so dass sich für eine Planung mit Reihenfolge-Restriktionen insgesamt die vier Typen sekundäre Engpässe und sekundäre Taktabstimmungsverluste sowie zyklische Produktion und Chargen-Produktion unterscheiden lassen. Sie sollen im Folgenden näher erörtert werden.

Im ersten Fall liegt eigentlich eine Engpass-Steuerung vor. Diese ist ausgelegt für einen durchschnittlichen Variantenmix in einer gewissen Bandbreite. Nun kann es einige wenige Varianten geben, die im Unterschied zu den stückzahlstarken Varianten am sekundären Prozess eine höhere Zykluszeit aufweisen, als am eigentlichen Engpass-Prozess. Steigt deren Stückzahlanteil in einer Periode überproportional stark an, dann wird der sekundäre Prozess zum *sekundären Engpass*. Dies lässt sich verhindern, indem der Stückzahlanteil der fraglichen Varianten im geplanten Variantenmix begrenzt wird. Durch diese Einschränkungen des erlaubten Mischungsverhältnisses unterschiedlicher Varianten werden in der Planung

zusätzliche Reihenfolgerestriktionen beachtet. Falls der sekundäre Engpass bereits bei geringen Produktionsmixschwankungen auftritt, steigt der Planungsaufwand deutlich und eine zusätzliche Überwachung des Puffers vor dem sekundären Engpass wird unvermeidlich sein. Das sind dann Komplikationen, die aus der Fertigung im Werkstattprinzip wohlbekannt sind – und die man bei der kapazitativen Auslegung des Wertstroms möglichst vermeiden sollte.

Beim zweiten Fall liegen die Verhältnisse bei den abweichenden Varianten gerade umgekehrt. Sie benötigen am restriktiven Prozess deutlich mehr Kapazität als die Mehrheit der gefertigten Produkte. Steigt ihr Anteil deutlich, dann gerät der Schrittmacher-Prozess ins Stocken, da die Stückzahl pro Freigabesignal – das ja einem festen Pitchintervall entspricht – deutlich geringer ausfällt und der Schrittmacher vergleichsweise wenig Arbeitsinhalt erhält. Im durchschnittlichen Variantenmix hingegen arbeitet der restriktive Prozess – beispielsweise ein Prüfprozess – schneller als der Schrittmacher-Prozess – beispielsweise eine Fließ-Montage. Die FIFO-Bahn gleicht die Taktunterschiede zwischen beiden Prozessen in einem gewissen Grad aus. Ist ihr Maximalbestand erreicht, dann wird die Montage zur Vermeidung von Überproduktion angehalten – mit den entsprechenden Arbeitszeitverlusten bei den Monteuren. Falls dies nur einer ungünstigen Reihenfolgebildung zu verdanken ist, sollte das natürlich vermieden werden. Am Schrittmacher kommt es so bedingt durch den restriktiven Prozess zu *sekundären Taktabstimmungsverlusten*. Zur Taktabstimmung kann eine Beschränkung des zulässigen Variantenmix erforderlich sein.

Im dritten Fall schreibt der restriktive Prozess eine ganz bestimmte, optimale Produktionsabfolge für die unterschiedlichen Varianten vor. Das bekannteste Beispiel dürfte hierbei die rüstzeitminimale Rüstreihenfolge sein, wie man sie allerdings eher in der Vorfertigung und weniger bei einem Prozess flussabwärts findet. Bei dieser *zyklischen Produktion* garantiert die Einhaltung einer optimalen Reihenfolge der Varianten in der Summe minimale Rüstzeiten. Bei Farbreihenfolgen in Lackierprozessen oder beim Spritzguss wird zudem Material eingespart. In thermischen Prozessen entfallen bei bestimmten Reihenfolgen die Übergangszeiten zur nächsten Variante. Gemeinsames Merkmal ist, dass ein bestimmtes Muster für die Reihenfolge im Variantenmix vorgegeben ist. Der restriktive Prozess arbeitet die Varianten immer in einem bestimmten Zyklus ab. Der Warteschlange werden dann die jeweils passenden Produktionsaufträge entnommen. Da die Warteschlange variantenabhängigen Schwankungen unterworfen ist, kann man je Variante und je Zyklus unterschiedlich viele Pitchintervalle freigeben. Die Losgrößen variieren also innerhalb des fixen

Reihenfolgeschemas – jeweils passend zur terminlichen Dringlichkeit der Produktionsaufträge.

Im vierten Fall werden die Produkte an einem flussabwärts liegenden Produktionsprozess nach bestimmten Merkmalen zu Losen zusammengefasst und dort in *Chargen* gefahren. Die Prozesszeit einer Charge entspricht dem Pitchintervall und kann je nach Variante eine unterschiedliche Anzahl Produkte enthalten. Oftmals sind diese Prozesse hinsichtlich der Reihenfolge der Lose flexibler, als es bei der zyklischen Produktion der Fall ist. Eine Produktion in Chargen gibt es beispielsweise in der Oberflächenbehandlung. Bei einem Beschichtungsprozess mag sich die gewählte Schichtart in beliebiger Reihefolge abwechseln, es muss aber immer eine bestimmte, Anzahl an Produktvarianten gefunden werden, die gemeinsam bestimmte geometrische Bedingungen erfüllen.

Planungsprinzipien

Zielsetzung Die Produktionsplanung für einen Wertstrom soll mit einer einfachen Produktionssteuerung einen gleichmäßigen Produktionsfluss ermöglichen. Dazu ist eine hinsichtlich Menge und Variantenmix gleichmäßige Auftragsfreigabe erforderlich, die mit dem Kapazitätsprofil des Wertstroms abgestimmt ist.

Methoden Mit dem Pitchintervall wird eine relativ kleine Planungs- und Freigabeeinheit definiert, die als Taktgeber für den Schrittmacher-Prozess fungiert. Die Glättung des Produktionsvolumens erreicht man durch eine Warteschlange der Kunden- oder Lagerergänzungsaufträge. Den Ausgleich des Produktionsmix erreicht man durch das variantenbezogene Mischen der Aufträge im jeweiligen Planungshorizont mit Hilfe des Ausgleichskastens. Die Engpass-Steuerung in unterschiedlicher Ausprägung wendet man an, wenn neben dem Schrittmacher noch durch andere Produktionsprozesse bedingte Restriktionen der Menge oder der Reihenfolge zu berücksichtigen sind.

Ergebnis sind vier grundsätzliche Lösungen der Planung und Steuerung: Die beiden Standardfälle einer Steuerung mit Direktversand oder mit Versand-Kanban sowie die kombinierte Steuerung mit Volumenlager oder mit Variantenlager.

3.4.4 Merkmale einer schlanken Planung und Steuerung

Die übergeordnete Zielsetzung einer nach den neun Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns entworfenen schlanken Planung und Steuerung ist die Minimierung von Überproduktion und Beständen. Sichtbares Ergebnis ist eine von überflüssigem Material bereinigte Fabrik mit einem entsprechend schlankem Materialfluss. Dadurch wird die *Transparenz auf dem Shop Floor* gefördert, so dass Abweichungen vom standardisierten Produktionsfluss leichter auffallen. Die niedrigen Bestände bedingen insbesondere eine niedrige Produktionsdurchlaufzeit. Eine schlanke Fabrik ist also immer auch eine *schnelle Fabrik*. Demgemäß ist auch die als Potential ausgewiesene Zeitlinie (Abschn. 2.4.1) von besonderer Bedeutung für die Umgestaltung einer Produktion nach den Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns.

Für die Ausgestaltung eines schlanken Planungs- und Steuerungssystems wird bei allen Gestaltungsrichtlinien die Primärtugend möglichst großer Einfachheit verfolgt. Alle Planungs- und Steuerungsaufgaben sind so zu formulieren, dass sie ohne großen, nicht mehr nachvollziehbaren Rechenaufwand erfüllt werden können. So ist im Prinzip eine rein manuelle Lösung ohne Unterstützung durch Informationstechnologie möglich. Das spricht nicht gegen ihren Einsatz – das Ausdrucken von Etiketten, die Rückmeldung von fertiggestellten Aufträgen, das Ordnen großer Mengen von Produktionsaufträgen, die Vergabe von Nummern und vieles anderes mehr sollte man natürlich nicht rein manuell durchführen. Die Einfachheit stellt jedoch sicher, dass Angaben und Ergebnisse im System leicht nachvollziehbar sind und die Anforderungen an die Rechenleistung gering bleiben. Ziel ist *Transparenz in Planung und Steuerung*.

Wichtigstes Prinzip der Planungs- und Steuerungsregeln ist, dass die Reihenfolge einmal freigegebener Produktionsaufträge keinesfalls vertauscht werden darf. Nur so kann eine konstante und damit genau vorhersagbare Produktionsdurchlaufzeit gewährleistet werden. Die genaue Einhaltung ist auch deshalb so wichtig, weil die Produktionsdurchlaufzeit so kurz ist und sich Reihenfolgeveränderungen prozentual bezogen auf die wenigen freigegebenen Aufträge stark auswirken. Daher werden alle prozessbedingt notwendigen Anpassungen der Auftragsreihenfolge bereits in der Planung durchgeführt. Dazu ist eine ausreichend lange Warteschlange erforderlich, deren Dimensionierung bei der Konzeption nicht vergessen werden sollte. Insgesamt erfolgt die Einsteuerung der Aufträge in den Wertstrom in der Weise, dass eine möglichst *gleichmäßige Kapazitätsbelastung* erreicht wird.

Die aufsummierte maximale Bestandshöhe im Wertstrom ist durch die Dimensionierung der Kanban-Regelkreise und der FIFO-Bahnen fixiert.

Im Rahmen der kurzfristigen Produktionsplanung kann die Bestandshöhe also *nicht* geregelt werden. Ausnahme sind hier lediglich die Sonder-Kanban, die eine situative Bestandserhöhung ermöglichen. Ansonsten sind Änderungen der Bestandshöhe nur mittelfristig durch Anpassung der jeweils im Kreislauf befindlichen Kanban sowie durch eine Verschiebung des Signalpunktes bei der FIFO-Verkopplung möglich. In Abhängigkeit vom schwankenden Füllgrad der FIFO-Bahnen und einer schwankenden Menge der vor einem Prozess wartenden Kanban kann der Bestand innerhalb der Produktion jedoch auch geringfügig, aber ungeplant, schwanken. Hinsichtlich der unterschiedlichen Möglichkeiten zur Wertstromgestaltung kann man als Faustregel für die *Reichweiten der Bestände* folgendes angeben: Was bei der Fließfertigung Minuten sind, das sind bei der Reihenfertigung Stunden, bei Kanban-Regelkreisen Schichten und bei der konventionellen prognosebasierten Lagerung Tage.

Die Gestaltungsrichtlinien gehen davon aus, dass die Produktion *störungsfrei* verläuft. In der Planung werden Störungen nicht explizit berücksichtigt. Das ist gewollt, damit etwaige Störungen auch auffallen und so Transparenz erzeugt wird. Kurzfristige Störungen flussaufwärts in der Vorproduktion werden durch den Sicherheitspuffer, den die Kanban-Bestände bieten, abgefedert. Bei längeren Störungen kommt es aber unvermeidlich zu *Fehlteilen* am Schrittmacher-Prozess. Ferner können Fehlteile durch säumige Lieferanten auftreten. Fehlteilprozesse werden jedoch absichtlich nicht definiert, da sie dann als standardisierte Verschwendung festgeschrieben wären.

Störungen flussabwärts vom Schrittmacher-Prozess werden automatisch berücksichtigt, da die Auftragsfreigabe sowohl bei der FIFO-Verkopplung als auch bei der Engpass-Steuerung verzögert wird. Daraus resultierende *Lieferverzögerungen* werden jedoch *nicht* berücksichtigt, etwa in dem Sinne, dass Alternativressourcen aus anderen Segmenten beplant werden. Diese Rückstände sind dann durch Kapazitätsflexibilität auszugleichen. Das zugehörige Instrumentarium mit entsprechenden Schichtverlängerungen oder Zusatzschichten ist in den Gestaltungsrichtlinien nicht eigens kodifiziert, kann aber den konventionellen Lösungen entlehnt werden.

Wesentliche Merkmale einer schlanken Planung und Steuerung

1. Die schlanke Fabrik ist *strukturfixiert*.
   Die üppigen Freiheitsgrade komplexer Planungssysteme werden dadurch reduziert, dass auf dem Shop Floor zahlreiche Festlegungen physisch fixiert werden. So ist ein wesentliches Merkmal der wertstromorientierten Segmentierung die feste Ressourcenzuordnung, wodurch die planerische Aufgabe der *situativen Zuordnung* einzelner Aufträge zu geeigneten Ressourcen ausreichender Kapazität komplett entfällt.
2. Die Planungs- und Steuerungsgrößen sind *schwellwertorientiert.*
   Es findet lediglich eine aufwandsarme Überprüfung von Schwellwerten (FIFO-Puffer, Kanban-Menge) mit wenigen definierten Eingriffspunkten (Schrittmacher, Engpass) statt. Alle anderen *Einzelereignisse* im Produktionsablauf (beispielsweise Auslastung den anderen Produktionsprozesse) werden vom Planungs- und Steuerungssystem nicht berücksichtigt und auch nicht erfasst.
3. Die schlanke Produktion setzt *Risikobereitschaft* voraus.
   Negative Auswirkungen von Störungen auf den Produktionsablauf sollen ‚spürbar' werden, damit Druck zu deren nachhaltigen Beseitigung entsteht. Denn das aus hohen Beständen und langfristigen Prognosen resultierende *Sicherheitsgefühl* verdeckt Missstände und Verschwendung.

3.5 Konzeption und Umsetzung

Konzeption Der erste Schritt bei der Neugestaltung einer Produktion ist die Strukturierung der Fabrik in Produktionssegmente basierend auf Produktfamilien und Geschäftstypen (Abschn. 3.1.1). Nach Auswahl des umzugestaltenden Segments erfolgt im zweiten Schritt die Anwendung der neun Gestaltungsrichtlinien zur Soll-Konzeption in der Reihenfolge ihrer Nummerierung.

Damit ergibt sich insgesamt eine *neunstufige Vorgehensweise* für das Wertstromdesign:

1. Ermittlung des Kundentaktes für den Wertstrom.
2. Einführung von Fließfertigung durch technische Integration von Teilprozessen.
3. Verkopplung der Prozesse beginnend beim Versenden flussaufwärts soweit möglich mit der FIFO-Logik.

4. Anbindung der Prozesse, die eine Losfertigung erfordern, mit der Supermarkt-Pull-Systematik. Gegebenenfalls können innerhalb eines Kanban-Regelkreises zwei Prozesse mit der FIFO-Logik verkoppelt werden.
5. Definition von geeigneten Kanban-Mengen und Behältergrößen sowie von Losgrößen an rüstintensiveren Prozessen mit Hilfe des EPEI-Wertes.
6. Festlegung des Schrittmacher-Prozesses und damit Festlegung des Kundenentkopplungspunktes.
7. Festlegung des Pitchintervalls zur Produktionsnivellierung bei der Auftragsfreigabe sowie Festlegung des Planungshorizontes für den Ausgleich des Produktionsmix
8. Festlegung des Versandprinzips und damit Auswahl des Systems der Planung und Steuerung
9. Berücksichtigung von Engpässen und Produktionsprozessen mit Reihenfolge-Restriktionen.

Die externen Lieferanten werden analog zu den internen Produktionsprozessen behandelt und dementsprechend nach Schritt 3 oder 4 in den Wertstrom eingebunden.

Die Vorgehensweise des Wertstromdesigns bietet einen standardisierten Weg, um eine beliebige Produktion von Stückgut in Richtung deutlich verbesserter Produktionsabläufe neu zu gestalten. Dabei wird man jedoch nur wirklich Erfolg haben, wenn man eine *innovative* Umgestaltung wagt, sich also weit genug vom Bewährten und von eingefahrenen Gewohnheiten distanziert. Eine Neugestaltung kann nur dann wirklich gelingen, wenn man die Produktion mit dem externen Blick der Unvoreingenommenheit betrachtet. In der Konzeptionsphase darf man sich nicht von scheinbar unverrückbaren Restriktionen einengen lassen. Oft genug wird das, was als alltagsferne Vision in einem Workshop zur Neugestaltung der Produktion begonnen worden ist, schließlich zum strategischen Unternehmensziel, nachdem man sich erst einmal gemeinsam die positiven Konsequenzen für den gesamten Produktionsablauf ausgemalt hat. Hallen mit Zwischenlägern schrumpfen zu einer Anzahl handlicher U-Linien, große Öfen für langwierige Wärmeprozesse in großen Losen werden zu schlanken Durchlauföfen und andere Effekte mehr. Mancher Skeptiker vergisst seine Einwände, weil auch er überzeugt ist, nachdem das Gewohnte im Vergleich zur entwickelten Zielvorstellung seinen Reiz verloren hat. Wenn ein Workshop zur wertstromorientierten Fabrikplanung mit den Produktionsverantwortlichen zu einem solchen Ergebnis gelangt, dann gibt es nicht nur ein neues Konzept, sondern auch einen neuen Konsens.

Neugestaltung einer Produktion mit Wertstromdesign

Zielsetzung ist die Produktionsverbesserung hin zur schlanken Fabrik.

Wesentliche Eigenschaften

1. Konsequente und systematische Anwendung klar formulierter Gestaltungsrichtlinien.
2. Materialflussorientierte Gestaltung des Shop Floors.
3. Einheitliche Abstimmung der Produktionsprozesse am Kundentakt.
4. Reduktion von Verschwendung im logistischen Gesamtablauf.
5. Weitgehende Standardisierung aller Produktionsabläufe.

Resultat ist eine transparente Fabrik, die Kundenwünsche schnell erfüllt. Der Wertstrom in jedem Produktionssegment zeichnet sich aus durch einen klaren Informationsfluss, einen bestandsreduzierten Materialfluss und kundentaktorientierte Produktionsprozesse.

Umsetzungsplanung Wenn das Soll-Konzept für den zukünftigen Wertstrom verabschiedet ist, gilt es, einen Umsetzungsplan zu erarbeiten, mit dem der Zielzustand erreicht werden kann. In der Wertstromdarstellung der neugestalteten Produktion sind alle Produktionsprozesse und logistischen Verknüpfungen mit den künftig erforderlichen Parametern zu Zykluszeiten, Rüstzeiten, Losgrößen, Behältergrößen und anderes mehr eingezeichnet. Diese technologischen und organisatorischen Veränderungen setzen entsprechende Verbesserungen an den Prozessen voraus, die erst noch erreicht werden müssen. Die zu diesem Zweck jeweils notwendigen *Verbesserungsmaßnahmen* werden mit einem Blitz symbolisiert (Abb. 3.58). Diese in Anlehnung an die japanische Bezeichnung für den kontinuierlichen Verbesserungsprozess in der Produktion als ‚Kaizen'-Blitze titulierten Symbole zeichnet man im Soll-Konzept an den entsprechenden Stellen ein. Da in der Wertstromperspektive der Gesamtzusammenhang des Wertstroms transparent ist, können auch alle so definierten Verbesserungsmaßnahmen in ihrer Gesamtwirkung beurteilt werden.

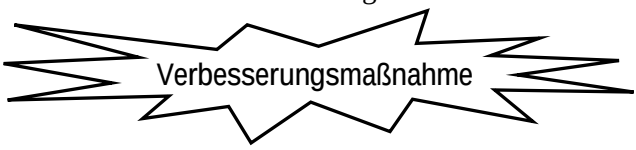


Abb. 3.58. Kaizen-Blitz für die Verbesserungsmaßnahmen

Wenn nun alle Verbesserungs-Maßnahmen definiert sind, wird der Wertstrom zur schrittweisen Umsetzung in *Abschnitte* zerlegt. In jedem Abschnitt sind entsprechend der Kaizen-Blitze Aufgaben zu definieren und die zugehörigen Ziele quantitativ festzuhalten. Anschließend sind in einem

Maßnahmenplan klar beschriebene Meilensteine, die jeweiligen Endtermine und vor allem die Verantwortlichkeiten festzulegen. Die Umsetzung der zum Soll-Zustand hinführenden Maßnahmen sollte schrittweise direkt in der laufenden Produktion erfolgen, denn nur durch kurze Feedbackzyklen können Lösungen erprobt und verbessert und so in die richtige Richtung gelenkt werden.

Die Umsetzung erfolgt in einer geeigneten *Abfolge* der zuvor definierten Abschnitte. Da der Schrittmacher-Prozess den Wertstrom mit seinen Eigenschaften am stärksten prägt, sollte er zuerst entsprechend des Soll-Konzeptes gestaltet werden. Anschließend werden alle Folgeprozesse flussabwärts umgestaltet. Die Materialversorgung des Schrittmachers sollte anfangs üppig ausgelegt werden, damit man sich zunächst auf den Prozess selbst konzentrieren kann. Nachdem der Schrittmacher und die Folgeprozesse technisch umgestaltet sind, kann das neue System der Planung und Steuerung im kundenauftragsbezogenen Abschnitt des Wertstroms eingeführt werden. Mit Abschluss der Umgestaltung des Schrittmacher-Abschnitts sind die Anforderungen an die vorgelagerten kundenanonymen Prozesse bereits Realität und nicht mehr bloß Konzept. Auf dieser Basis kann man sich nun schrittweise flussaufwärts vorarbeiten, wobei jeweils ein Kanban-Regelkreis in der Regel einen einzeln umgestaltbaren Abschnitt des Wertstroms ausmacht. Parallel dazu kann dann die Ablösung des bestehenden Produktionsplanungs-Systems erfolgen.

Zur Beschleunigung der Umsetzung kann natürlich auch parallel in den einzelnen Abschnitten gearbeitet werden. Schließlich sind kontinuierliche Anpassungen ohnehin sinnvoll, so dass die Abschnitte immer wieder aufeinander abgestimmt werden können. Die aus dem Schrittmacher-Prozess resultierenden Anforderungen bleiben jedoch allen anderen Prozessen und Abläufen übergeordnet, auch wenn die Umsetzung erst später erfolgen sollte.

Fallbeispiel Bei Liquipur kann die Umsetzung in drei Abschnitten erfolgen (Abb. 3.59): Zunächst beginnt man mit der Implementierung der Fließfertigung sowie der Einrichtung des Versand-Kanban. Im zweiten Abschnitt werden das Halbfabrikatelager an die Kanban-Regelung angepasst, Rüstoptimierungs-Workshops an den Fräsen durchgeführt, Wartungspläne erstellt und Kanban gedruckt. Im dritten Abschnitt schließlich wird die Lieferantenanbindung weiter optimiert und dabei auf Kanban umgestellt. Ziel ist die Reduktion der Bearbeitungszeit pro Stück von 522 Sekunden um 6 Prozent auf 487,5 Sekunden sowie die Reduktion der Durchlaufzeit von 12,25 Tagen um 60 Prozent auf 4,5 Tage.

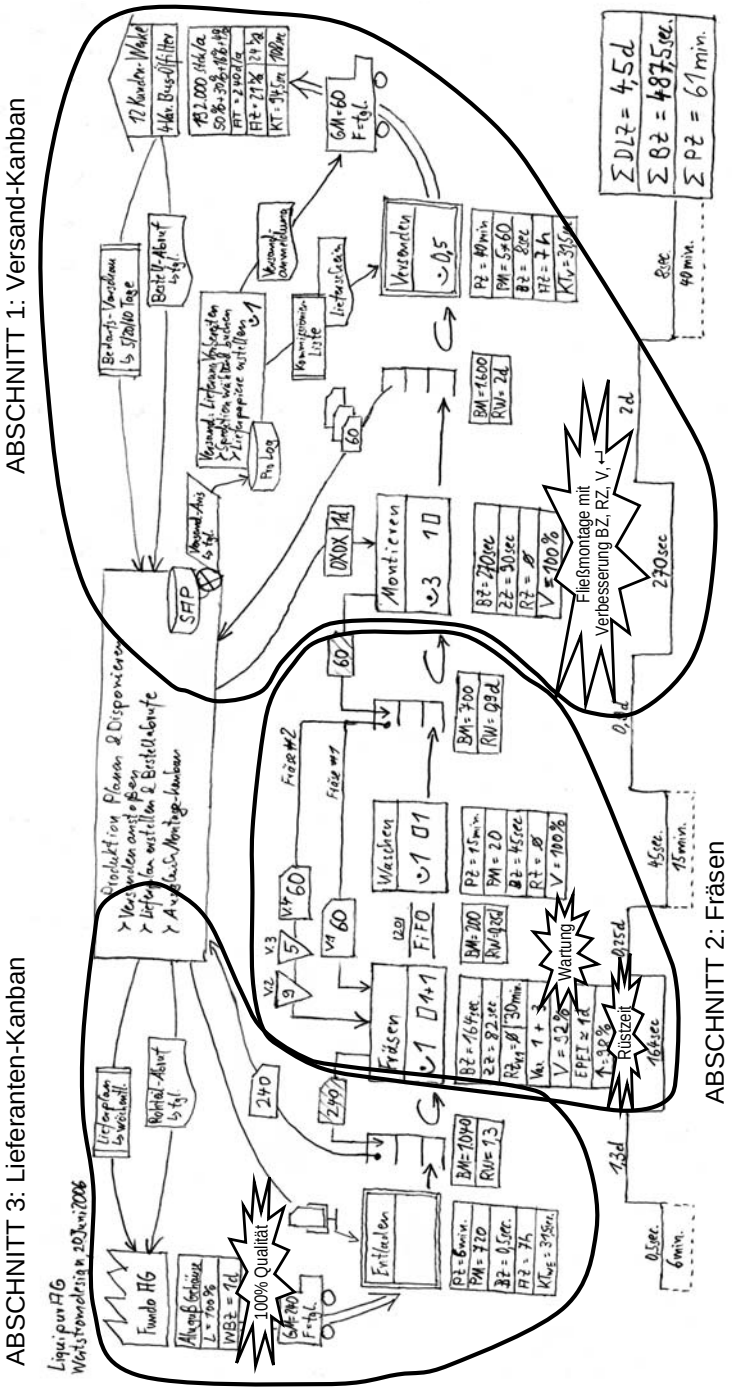


Abb. 3.59. Wertstromdesign bei Liquipur (6): Kaizen und Umsetzungs-Abschnitte

Typische Verbesserungsmaßnahmen

- Reduktion der Durchlaufzeit durch Definition eines Schrittmacher-Prozesses mit Festlegung genau eines Planungspunktes sowie Beschränkung der Auftragsfreigabe.
- Beseitigung von Verschwendung im Produktionsprozess, bis der Kundentakt unterschritten wird.
- Verbesserung der Verfügbarkeiten durch vorbeugende Instandhaltung und Steigerung der Prozesssicherheit.
- Reduktion von Rüstzeiten durch Rüstzeitoptimierung oder Elimination von Rüstzeiten durch Vorrichtungsbau.
- Einführung von Mehrmaschinenbedienung.
- Reduktion von Verschwendung im Arbeitsablauf.
- Durchführung von Wertstromdesign beim Lieferanten.

4 Die schlanke Fabrik

Das Ideal des Produzierens verwirklicht sich in einer Fabrik, in der jedes Produkt bei konkretem Bedarf einzeln und kundenspezifisch hergestellt wird – und zwar mit industriellen Mitteln. Letzteres bedeutet, effizient zu produzieren, das heißt Arbeitsteilung und Mechanisierung so zu nutzen, dass nicht nur die Kosten gesenkt, sondern auch die anderen Ziele des Produzierens erreicht werden (Abschn. 1.2.2). Mit industriellen Mitteln sind demnach zugleich die Qualität und Genauigkeit der Produkte zu steigern, die Dauer des Herstellprozesses zu senken sowie trotz der Standards eine hohe Varianz des Produktspektrums zu verwirklichen. Dieses Ziel einer ‚idealen Fabrik' sollte man sich immer vor Augen halten, wenn man seine Produktion kontinuierlich verbessern möchte.

Die in diesem Buch ausführlich erläuterten neun Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns (Kap. 3) erlauben es, jede Produktion von Stückgut zu einem idealen Zielzustand hin zu entwickeln. Dieses Ziel ist die *schlanke Fabrik*. Das in diesem Buch ausgearbeitete Wertstromdesign bietet zudem eine bewährte Reihenfolge in der Anwendung der Gestaltungsrichtlinien bei der Konzeption an. Für die Gestaltung des Produktionsablaufes in einer Fabrik sollten diese neun Gestaltungsrichtlinien ausreichend sein.

Auf dem Weg zur idealen, schlanken Fabrik wird man bei der Anwendung der Gestaltungsrichtlinien immer zwei Arten von *Kompromissen* eingehen müssen:

1. Zum einen die Anwendung einer jeweils ‚schwächeren' Gestaltungsrichtlinie, also Reihenfertigung statt Fließfertigung, Losfertigung statt Einzelstückfertigung, Berücksichtigung von Restriktionen in der Reihenfolgebildung.
2. Zum anderen die ‚unsaubere' Umsetzung einer Gestaltungsrichtlinie, wie kleine Sicherheitsbestände in der Fließfertigung, Überholen auf der FIFO-Bahn, planerisches Überwachen der Kanban-Regelkreise mit einem übergeordneten EDV-System und anderes.

Die ‚Verlockung' zur unsauberen Umsetzung ist im Fabrikalltag erfahrungsgemäß besonders groß, da eine strikte Einhaltung von Richtlinien mehr Mühe macht, als dabei an unmittelbarem Nutzen für den Einzelnen sofort erkennbar ist. Zuweilen haben Richtlinienverstöße sogar einen of-

fensichtlichen Vorteil – jedoch *nur* unter Voraussetzung der jeweils spezifischen Gegebenheiten bei Produktionsprozessen *und* Produkt. So bietet es sich beispielsweise bei stark schwankenden Arbeitsinhalten besonders im Maschinenbau an, dass kleine Maschinen die Großen mit mehr Modulen in der Montagelinie überholen. Genau genommen aber entspricht hier das Montagekonzept nicht dem Idealzustand, der eben eine gleichmäßig ablaufende Montage ermöglichen sollte. Was nicht heißen soll, dieser wäre einfach und kostenfrei erreichbar.

Wertstromorientierte Fabrikplanung Die neun dargelegten Gestaltungsrichtlinien sind für die Gestaltung des Produktionsablaufes in einer Fabrik ausreichend. Einige darüber hinausgehende Planungsaufgaben sind damit jedoch noch nicht abgedeckt. Die Richtlinien sind daher für eine *wertstromorientierte Fabrikplanung* noch zu ergänzen in dreierlei Hinsicht:

1. Mit den Gestaltungsrichtlinien zur Produktionsplanung wird nur der kurzfristige Planungshorizont abgedeckt (Abschn. 3.4). Nach welchen Gestaltungsrichtlinien eine schlanke, mittel- und langfristige Produktionsplanung zu gestalten wäre, ist noch offen. Die Entwicklung eines *schlanken Auftragsmanagements*, das verkürzt gesagt, Kanban und Jahresbedarfsplanung, also schlanke, produktionsnahe Feinplanungssysteme und nicht so schlanke, aber weit verbreitete ERP-Systeme unter einen Hut bringt, ist eine wichtige Forschungs- und Entwicklungsaufgabe.
2. Die physische Realisierung des mit den Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns konzipierten Produktionsablaufes in der Fabrik bedarf auch der räumlichen Anordnung der den Produktionsprozessen zugeordneten Ressourcen. Wie eine *wertstromorientierte Layoutplanung* für die schlanke Fabrik aussehen könnte, soll im Folgenden näher beleuchtet werden (Abschn. 4.1). Eingeführt werden dazu vorläufig zwei weitere Gestaltungsrichtlinien zur Layoutplanung.
3. Der erörterte Betrachtungsbereich bei Wertstromanalyse und Wertstromdesign erstreckt sich von Tor zu Tor eines Werkes. Damit sind die Planungsebenen Betriebsmittel, Segment beziehungsweise Bereich, Gebäude sowie ganzes Werk methodisch abgedeckt. Nicht betrachtet worden ist die Ebene des Produktionsnetzes mit ihren standortübergreifenden Zusammenhängen. Sowohl bei der Festlegung der *Produktionsordnung* im Sinne der Verteilung von Produktionsaufgaben auf mehrere Standorte als auch bei der Gestaltung der logistischen Zusammenhänge von *Zuliefernetzwerken* sind zusätzliche spezifische Aspekte zu berücksichtigen, die im Rahmen dieses Buches nicht ausgearbeitet werden konnten.

Ein entsprechend erweitertes Set an Gestaltungsrichtlinien würde alle Planungsaufgaben für eine schlanke Fabrik im Produktionsnetz abdecken. Die weiteren Aufgaben zur Produktionsgestaltung resultieren aus dem Produktdesign sowie den jeweils erforderlichen Produktionstechnologien. Hier formulieren die Gestaltungsrichtlinien explizit und auch implizit Anforderungen ohne selbst Gestaltungshinweise zu geben. Die Nutzbarmachung sowohl einer *innovationsgetriebenen Technologieentwicklung* als auch einer *produktionsgerechten Produktgestaltung* für die Optimierung einer Fabrik ist jedoch nicht als ein Teil der Fabrikplanung, sondern als ein eigenständiges Aufgabenfeld anzusehen.

Fabrikbetrieb Da sowohl die Konzeption als auch die anschließende Realisierung der Fabrik selten (hier euphemistisch gemeint für ‚nie') im ersten Anlauf den Idealzustand erreichen, ist es angezeigt, die Produktion im *Fabrikbetrieb* kontinuierlich zu verbessern. Das kann operativ im Kleinen, das heißt an den Arbeitsplätzen direkt – geplant und ausgeführt durch die Mitarbeiter vor Ort –, sowie konzeptionell im Großen durch eine kontinuierliche Fabrikplanung erfolgen. Zudem sind ständig Änderungen der verfügbaren Produktionstechnologien, der Produkte und nicht zuletzt auch der vom Markt abhängigen Zielgewichtung in die Fabrikumgestaltung mit einzubringen. Die Grundidee des schlanken Fabrikbetriebs liegt somit in der ständigen Verbesserung aller Prozesse.

Der Fabrikbetrieb vollzieht sich als ein entsprechendes *Handlungssystem*, dessen Beschreibung allgemein unter dem Titel ‚Produktionssystem' bekannt ist. Gemeint ist hier nicht ein technisches Produktionssystem wie ein flexibles Bearbeitungszentrum, sondern in Anlehnung an das Toyota Produktionssystem ein arbeitsorganisatorischer Rahmen, der handlungsleitend für alle Mitarbeiter vom Produktionsleiter bis hin zur Hilfskraft wirkt. Ein Produktionssystem umfasst alle Prinzipien und Methoden, die für eine Produktionsorganisation mit klaren Verantwortlichkeiten, einem schlanken Produktionsablauf und einem unterstützenden Produktionscontrolling erforderlich sind. Die Hauptbestandteile eines Produktionssystems sollen abschließend kurz umrissen werden (Abschn. 4.2).

Mit der Methode des Wertstromdesigns kann der *Weg zur schlanken Fabrik* sicher und erfolgversprechend beschritten werden. Die angesprochenen offenen Themenfelder zeigen jedoch, dass zur Zielerreichung noch weitere Aufgaben von zentraler Bedeutung zu planen und umzusetzen sind. Gelingt es, für die Auftragsmanagementgestaltung, die Layoutplanung, die Vernetzung von Fabriken sowie den Fabrikbetrieb entsprechende Gestaltungsrichtlinien auszuformulieren, wäre ein methodisches Vorgehen in ähnlicher Weise wie beim Wertstromdesign durchgängig für die gesamte Gestaltung und Realisierung einer schlanken Fabrik möglich.

4.1 Wertstromorientierte Layoutplanung

Wenn die Produktionsabläufe definiert sind, mithin die Logik des Produzierens feststeht, beginnt die Planung der physischen Umsetzung mit dimensionierten Ressourcen sowie deren Anordnung. Dies ist das ursprüngliche Feld der Fabrikplanung, bei dem man häufig vor allem an *Fabriklayout* und *Fabrikgebäude* denkt, weniger an Fabrikstruktur und Produktionsablauf. Mit dem Wertstromdesign deckt man die beiden letztgenannten Punkte ab – die Strukturierung durch Produktfamilienbildung und Festlegung von Geschäftstypen (Abschn. 3.1.1), den Produktionsablauf durch die neun Gestaltungsrichtlinien. Da die in diesem Buch vorgestellte Methode diese beiden Aufgaben sehr effizient erfüllt und zusätzlich auch gut visualisiert, hat sich die Integration des Wertstromdesigns in die klassische Fabrikplanungsmethode bereits hervorragend bewährt. Dies kann man bei den unterschiedlichsten Planern beobachten, so dass sich auch ‚alte Hasen' fragen, wie denn früher überhaupt Fabriken geplant werden konnten.

Davon unberührt geblieben sind jedoch überwiegend die Aufgaben, die mit der räumlichen Gestaltung im weitesten Sinne zusammenhängen. Die Grundsätze der Wertstrommethode auch auf Aspekte des Layouts und des Gebäudes zu übertragen, ist das Anliegen einer wertstromorientierten Layoutplanung. Dieses Vorgehen soll hier nur knapp angedeutet werden, da die fundierte Untersuchung der architektonischen und gebäudetechnischen Aspekte sowie der flächen- und ressourcenbezogenen Planungsinhalte eine eigenständige Abhandlung erfordern würde. Es gibt zahlreiche, auch aktuelle Monographien zur Fabrikplanung, jedoch ohne explizite Anknüpfung an die Wertstrommethode (Schmigalla 1995; Felix 1998).

Flächenbedarf Der erste planerische Schritt im Anschluss an die Konzeption des Produktionsablaufes ist die Flächenbedarfsermittlung. Der ideale Flächenbedarf leitet sich ab aus den Betriebsmitteln, die die gewählte Produktionstechnologie realisieren. Bei der entsprechenden *Dimensionierung* sind der Flächenbedarf pro Betriebsmittel sowie deren Anzahl, abgeleitet aus dem geforderten Kapazitätsprofil, zu bestimmen. Hinzu kommen die aus der Art der logistischen Verknüpfung abzuleitenden Transport- und Fördermittel mit ihrem entsprechenden Verkehrswegebedarf sowie die erforderlichen Lager- und Bereitstellflächen, jeweils in Abhängigkeit von der Lagertechnologie.

Eine Grundidee bei der Flächenplanung ist die *strikte räumliche Trennung von Produktionsprozess und Materialfluss* auf dem Shop Floor, denn dies erleichtert die Konzentration auf wertschöpfende Prozesse. Die produzierenden Mitarbeiter sind dann ausschließlich verantwortlich für Tätigkeiten, die der wertschöpfenden Veränderung der Teile und Produkte mit

Hilfe der Produktionsprozesse dienen. Die logistischen Mitarbeiter sind dagegen ausschließlich verantwortlich dafür, dass sich die produzierenden Mitarbeiter auf ihre wertschöpfende Tätigkeit konzentrieren können, dazu immer ausreichend Material zur Verfügung haben und sich auch nicht um den Abtransport von Fertigteilen kümmern müssen. Beider Arbeitsplatz sollte deutlich räumlich getrennt sein. Die zugehörige Gestaltungsrichtlinie lautet:

Gestaltungsrichtlinie 10: *Trennung von Produktion und Materialfluss*

Wertschöpfende Tätigkeiten im Produktionsprozess sind von den unterstützenden, logistischen Tätigkeiten räumlich abzutrennen.

In ähnlicher Weise sind auch Regeln aufzustellen für Instandhaltung, Störungsmanagement und Reparatur, da hier geplant oder ungeplant fallweise verschiedene zusätzliche Ersatz- und Austauschteile – sowie zusätzliche Kompetenzen – benötigt werden. Anders ist dies bei regelmäßigen Wartungsarbeiten in Produktionspausen, die von den wertschöpfenden Mitarbeitern selbst auszuführen sind, da diese Verbindung von Verantwortlichkeiten mitunter auch produktivitätssteigernd wirkt.

Eine konsequente Trennung von Produktion und Materialfluss hat in der Regel einen erheblichen Einfluss auf den Flächenbedarf. So sind beispielsweise nach diesem Kriterium gestaltete Fließmontagen äußerst flächeneffizient. Sie sparen gegenüber herkömmlichen Montagen etwa die Hälfte ein, da Material gezielter bereitgestellt und Arbeitsplätze zur Vermeidung unnötiger Wege und zur Verhinderung von Losbildung bewusst sehr knapp ausgelegt werden. Auch die Reduktion der Produktionsdurchlaufzeit führt bedingt durch deutlich verminderte Bestände auf dem Shop Floor automatisch zu einer merklichen Flächeneinsparung. Nunmehr überflüssige Lagereinrichtungen können abgebaut und an die Konkurrenz in China verkauft werden. Bei der Layoutplanung für die schlanke Fabrik ist die *Flächenverdichtung* eine eigenständige Aufgabe.

Ideallayout Nach Abschluss der Dimensionierung erfolgt die räumliche Anordnung aller Betriebsmittel im Fabriklayout. Gestaltungsregel der klassischen Fabrikplanung ist es, kreuzungsfreie Materialströme zu erreichen, also ein *materialflussgerechtes* Layout zu entwerfen. Ein Teil dieser Arbeit ist mit der Wertstromdarstellung bereits erledigt, indem nämlich die Abfolge der Produktionsprozesse festgelegt und die jeweils gewählten Betriebsmittel eindeutig zugeordnet sind. Ein *flussorientiertes Ideallayout* erhält man durch einfaches Anordnen der Betriebsmittel entsprechend des im

Wertstrom dargestellten Materialflusses. Somit lautet die entsprechende Gestaltungsrichtlinie:

Gestaltungsrichtlinie 11: *Flussorientiertes Ideallayout*

Die Betriebsmittel einer Fabrik sind möglichst eng entsprechend ihrer Abfolge im Wertstrom nebeneinander anzuordnen.

Diese Gestaltungsrichtlinie ersetzt das aus der Fabrikplanung bekannte, aber mit Recht nur selten angewendete Dreiecksverfahren zur Anordnung von Flächenelementen. Eine unmittelbare Umsetzung der Wertstromdarstellung in ein Layout würde zu einer Linienanordnung führen (Abb. 4.1, Fall A). Das muss nicht immer die bestmögliche Anordnung sein. Daher empfiehlt es sich, bei der Konzeption die unterschiedlichen Grundstrukturen für den Materialfluss zu berücksichtigen. Bei verzweigten Wertströmen bietet sich eine Parallelstruktur an (Abb. 4.1, Fall B). Bei einer Linienanordnung mit volumenstarkem Kaufteilezufluss an mehreren Stellen bietet sich ein parallel zur produzierenden Linie geführter Logistikbereich an (Abb. 4.1, Fall C). Werden mehrere Teil-Wertstöme zusammengeführt, ist im Regelfall die Spine-Struktur die am besten geeignete. Bei U-Form, Ringstruktur, Eck-Struktur und Schleifen-Struktur ergibt sich vor allem eine andere relative Lage von Wareneingang und Versand zueinander (Abb. 4.1, Fälle E bis H). Aber auch bei den Produktionsprozessen ergeben sich zusätzliche Nachbarschaften, wie sie bei der Linienanordnung nicht vorhanden sind. Dies ist vor allem wichtig, wenn aus technologischen oder organisatorischen Gründen bestimmte Produktionsprozesse nah beieinander oder weit voneinander entfernt liegen sollten.

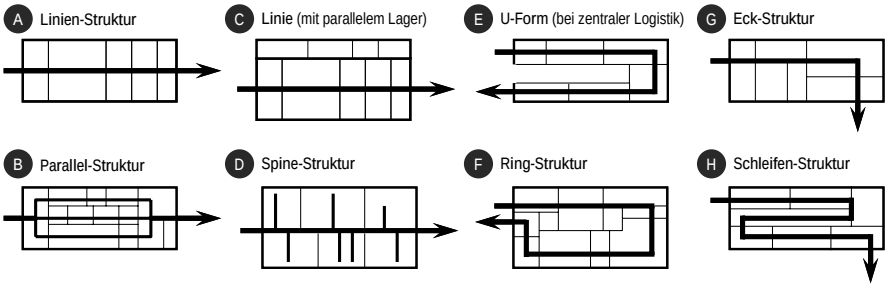


Abb. 4.1. Acht wesentliche Grundstrukturen des Materialflusses in einer in Flächenelemente gegliederten Fabrik

Die dargestellten Grundstrukturen sind stark vereinfachend, weil der Flächenbedarf der einzelnen Betriebsmittel stark voneinander abweichen kann. Auch wird die jeweilige Flächengeometrie, die im Wesentlichen aus

dem Grundriss des Betriebsmittels resultiert, die im Idealfall realisierbare Materialflussstruktur mehr oder weniger deutlich beeinflussen. Das Idealllayout ist demnach durch die Flächengeometrie der erforderlichen Betriebsmittel sowie deren spezifischen Anforderungen an die gebäudetechnische Infrastruktur (Medienversorgung, Klimatisierung, Lärmschutz, Reinraum, besondere Sicherheitsanforderungen für Brandschutz, Gesundheitsschutz, Explosionsschutz) geprägt. Solange noch keine gebäudespezifischen Festlegungen erfolgen und auch kein Gelände berücksichtigt wird, kristallisiert sich erfahrungsgemäß eine einzige Ideallösung für das Fabriklayout heraus.

Reallayout Die gebäudeseitigen Restriktionen, wie Rastermaß, gleichmäßiger Baukörper (kein Zick-Zack-Grundriss des Gebäudes), vorhandene Bausubstanz, zulässige Flächenlasten, unterschiedliche Medienverfügbarkeit, Beleuchtung und Klimatisierung und vieles anderes mehr, werden in der *Reallayoutplanung* berücksichtigt. Für die ideale schlanke Produktion sollte die Regel gelten, dass keine gebäudeseitigen Restriktionen geschaffen werden, die die wertstromorientierte Anordnung der Betriebsmittel verhindern. In der Praxis wird man, da es einige unvermeidliche gebäudeseitige Restriktionen gibt, wohl oder übel mit Kompromissen leben müssen. Das methodische Handwerkszeug, in diesen Fällen die jeweils beste Lösung systematisch zu suchen und schließlich auszuwählen, ist die im Folgenden kurz erläuterte Bildung von *Planungsvarianten* mit abschließender *Nutzwertanalyse*.

Da Restriktionen die Abweichung von der Ideallösung auf jeweils unterschiedliche Art und Weise zulassen, können bei der Umsetzung des Ideallayouts in ein Reallayout unterschiedliche Planungsvarianten entwickelt werden. Diese Varianten sind ungleichwertig in quantitativer und qualitativer Hinsicht. Im ersten Fall einer rein kostenbezogenen Betrachtung können die Varianten unterschiedliche Investitionen für Umbau, Neubau, Umzug und anderes erfordern und nach der Realisierung unterschiedliche laufende Kosten verursachen. Eine Auswahl der Vorzugsvariante lediglich auf monetärer Basis würde allerdings zu kurz greifen. Es gilt vielmehr, neben der Wirtschaftlichkeit auch die anderen drei Zieldimensionen Geschwindigkeit, Qualität und Variabilität (Abschn. 1.2) zu berücksichtigen. Für die Layoutbewertung leiten sich daraus *qualitative Bewertungskriterien* ab wie beispielsweise die Eignung für eine stufenweise Umsetzung, Transparenz im Produktionsablauf, Flussorientierung, Erweiterungsmöglichkeiten für zukünftiges Wachstum, Nähe zu den indirekten Bereichen und andere mehr. Die Planungsvarianten werden hinsichtlich dieser Kriterien von den Mitgliedern des Planungsteams mit Punktzahlen bewertet. Um die Güte der Planungsergebnisse besser beurteilen zu können, sollte

man die beiden Grenzfälle, nämlich den abzulösenden Ist-Zustand sowie den in einem Neubau realisierten Ideal-Zustand, immer gleich mitbewerten. Die abschließende Auswahl der Vorzugsvariante berücksichtigt dann sowohl die quantitative als auch die qualitative Bewertung.

Wertstromorientierte Fabrikplanung

Die Wertstromanalyse des Ist-Zustandes einer Fabrik, die Strukturierung der Produktionsaufgabe durch Produktfamilienbildung, das Wertstromdesign der künftigen Produktionsabläufe sowie die hier abschließend dargestellte wertstromorientierte Layoutplanung bilden die Kernbestandteile einer stringenten Methode der *wertstromorientierten Fabrikplanung*. Ziel aller zugeordneten Methoden ist die Planung einer schlanken Fabrik. Die neun plus zwei Gestaltungsrichtlinien gewährleisten, dass dieses Ziel auch erreicht werden kann. Trotzdem gibt es im Verlauf der Planung immer zahlreiche Entscheidungen zu treffen, die eine unterschiedliche Ausprägung und Ausgestaltung der Details im Rahmen der Gestaltungsrichtlinien ermöglichen und erforderlich machen. Um hier die jeweils richtige Entscheidung treffen zu können, ist eine Klärung der *Fabrikziele* und ihrer Wechselwirkungen im logischen Zielquadrat (Abschn. 1.2.2) unumgänglich.

4.2 Produktionssysteme

Der Erfolg des maßgeblich von Ohno Taiichi entwickelten Toyota Produktionssystems (TPS) hat dazu geführt, dass die systematische Organisation der Produktion durch *Produktionssysteme* weite Verbreitung gefunden hat. Kaum ein Automobilunternehmen, das sich nicht mit einem eigenen Produktionssystem schmückt (genannt seien einige willkürlich herausgegriffene Beispiele: Mercedes Produktionssystem – MPS, Audi Produktionssystem – APS, Valeo Produktionssystem – VPS). Entstanden sind umfangreiche Broschüren und veränderte Produktionsabläufe. Die besonders erfolgreichen, selbst produzierenden Unternehmen, wie beispielsweise Porsche, Trumpf, Festtool, SEW Eurodrive sind unter die Berater gegangen, um ihre eigenen positiven Erfahrungen an andere Industrieunternehmen weiterzugeben. Die Lösungsansätze und Methoden sind vergleichbar, die Erfahrungen damit aber von Unternehmen zu Unternehmen durchaus unterschiedlich. Woran mag das liegen?

Abb. 4.2. Das Toyota Produktionssystem (eigene Darstellung)

Tempelmodell Vielleicht nicht von ungefähr, betrachtet man den Habitus ihrer Protagonisten, wird das Toyota Produktionssystem als Hauptreferenz aller verwendeten Produktionsmethoden gerne als *Tempel* dargestellt. Als doppelte Basis werden die Vermeidung von Verschwendung und flexible Produktion angegeben, die vier Säulen heißen Just in time, Jidoka sowie zweifach Total Quality Management (Oeltjenbruns 2000). Die hier gewählte, gegenüber der klassischen Darstellung leicht abgewandelte Form bietet eine kondensierte, strikter systematisierte Gliederung der Elemente eines Produktionssystems (Abb. 4.2). Die Funktion der Elemente im System ist im Folgenden kurz dargelegt:

- Das *Fundament* des Produktionssystems bildet die absolute Zuverlässigkeit aller Produktionsprozesse und Produktionsabläufe. Sie kann durch Standardisierung aller Arbeitsabläufe gewährleistet werden.
- Die Vermeidung von Verschwendung wird durch Methoden erreicht, die in den beiden *Säulen* dargestellt sind.
  Die linke, *logistische* Säule umfasst Methoden, die zur Vermeidung von Verschwendung in den Abläufen führen sollen. Dazu gehören im Wesentlichen die Realisierung einer gleichmäßigen und ausgeglichenen Produktion (Heijunka) sowie einer zeitgerechten Produktion ohne Überproduktion (Just in time). Hier befinden sich die in den Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns festgelegten Methoden der Produktionsablaufgestaltung.
  Die rechte, *technologische* Säule umfasst Methoden, die zur Vermeidung von Verschwendung in den Produktionsprozessen führen sollen. Dazu gehören im Wesentlichen die kontinuierliche Verbesserung mit

den Mitarbeitern direkt an den Betriebsmitteln (Kaizen) sowie eine intelligente Automatisierung (Jidoka). Bei letzteren erfolgt insbesondere die Funktionsüberwachung automatisch, so dass der Mitarbeiter der Maschine nicht beim Produzieren zuzuschauen braucht und auch Mehrmaschinenbedienung möglich ist. Weitere produktionsprozessbezogene Methoden sind die Shop-Floor-Gestaltung nach Kriterien der Ordnung und Sauberkeit, die konsequente vorbeugende Instandhaltung, die Mehrfachqualifikation der Mitarbeiter für einen flexiblen Einsatz sowie die Fehlervermeidung durch narrensichere Gestaltung von Vorrichtungen und Bedienelementen (Poka Yoke).

- Das *Dach* schließlich bildet die bekannte Trias der wesentlichen Ziele der Produktion: Top-Qualität, kurze Durchlaufzeiten und minimale Kosten. Die Visualisierung der Regelabläufe in der Produktion sowie der Produktionsergebnisse in aus Kennzahlen erzeugten grafischen Darstellungen dient der Transparenz der Zielerreichung.

Die eingangs erwähnten und auch viele andere unternehmensspezifische Produktionssysteme zeichnen sich in der Regel durch einen höheren Detaillierungsgrad aus. Es werden zusätzliche Methoden und allgemeine Prinzipien genannt, diese werden ausführlich beschrieben und auch immer wieder anders angeordnet. Dabei ist das Säulenmodell mit Dach und Sockel die am weitesten verbreitete grafische Darstellung. Die Anzahl der Säulen, ihre Gruppierung, die Bezeichnung als Produktionsprinzip oder Methode, die Zahl der berücksichtigen Methoden und Werkzeuge und die Zuordnung zu Sockel, Säule oder Dach ist jeweils deutlich verschieden. Dies lässt nicht ganz ungerechtfertigt den Eindruck von Beliebigkeit aufkommen. Es fehlt noch die überzeugende Grundstruktur, nach der ein jedes Produktionssystem aufzubauen wäre.

Handlungsmodell Lösungsansatz hierfür könnte sein, das Produktionssystem nicht als eine mehr oder weniger systematische Methodensammlung, sondern als die Beschreibung eines *Handlungssystems* namens ‚Fabrik' zu begreifen. In diesem Fall dient ein entsprechendes Handlungsmodell dazu, ein präziser formuliertes Produktionssystem zu entwickeln. Eine technische Handlung lässt sich allgemein in fünf Handlungsphasen untergliedern: Vorbereitung der Ausgangssituation, Auslösung der Handlung, ausgelöstes Ereignis, bewirkte Folgen der Handlung sowie Nachbereitung der Handlung (Erlach 2000). Beispielsweise setzt ein Bediener (1) eine bereitstehende eingerüstete Maschine (2) in Betrieb, damit diese (3) ein Teil bearbeitet, bis jenes (4) die vorgegebene Form erhält. Abschließend wird (5) die Maschine gereinigt und umgerüstet.

Entsprechend der Struktur dieser fünf Handlungsphasen lassen sich dann die unverbindlich parallelisierten Säulen der üblichen Produktions-

systeme durch eine stringente Abfolge von *Handlungsfeldern* ersetzen. Als Handlungsfelder für die systematische Konfiguration eines Produktionssystems können vorläufig die fünf ‚Säulen' vorbereitende Standardisierung, auslösender Informations- und Materialfluss im Wertstrom, durchführende, robust zu gestaltende Produktionsprozesse, Visualisierung der mit Kennzahlen zu messenden Ergebnisse sowie nachbereitende Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung künftiger Handlungen angenommen werden (Abb. 4.3). Für die Handlungsphasen ist ein Säulenmodell denkbar ungeeignet, da es die Dynamik des Fabrikbetriebs in keiner Weise wiedergibt. Wie die Module eines am Phasenmodell orientierten Produktionssystems im Einzelnen aussehen würde – dies wäre eine ausführliche Untersuchung an anderer Stelle wert.

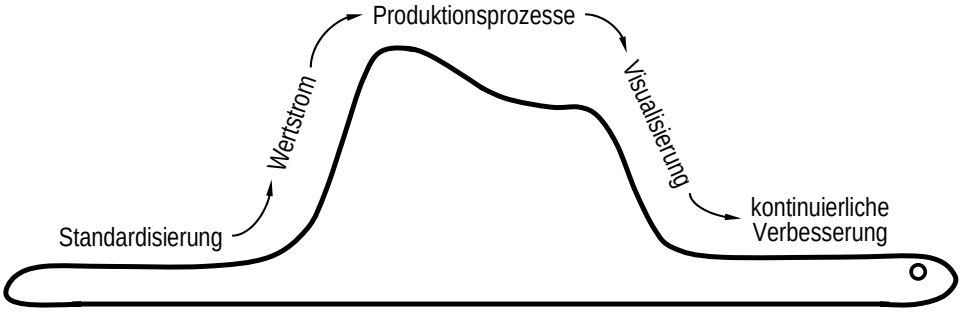


Abb. 4.3. Handlungsmodell mit den fünf zentralen Handlungsfeldern, modelliert als Schlange, die einen Elefanten verschluckt hat (Idee: Le Petit Prince de Antoine de Saint-Exupéry „Mon dessin […] représentait un serpent boa qui digérait un éléphant."; with a special tribute to Thomas T. Ballmer)

Durch diese neue Sichtweise wird deutlich erkennbar, dass es der wesentliche Grundzug eines Produktionssystems ist, für den Fabrikbetrieb handlungsleitend zu sein. Die Gestaltungsrichtlinien und analog dazu die Handlungsrichtlinien im Fabrikbetrieb haben einen verpflichtenden Charakter. Sie müssen durchgesetzt werden, damit ein Produktionssystem zum Erfolg führen kann. Hierin liegt sicherlich auch der unterschiedliche Erfolgsgrad von Produktionssystemen in der deutschen Industrie – eine strikte Anpassung der Unternehmenskultur ist unabdingbare Voraussetzung dafür. Aus diesem Grund können zwar durchaus einzelne Richtlinien und Methoden wie Kanban oder verbesserte Ordnung und Sauberkeit vom mittleren Management gewinnbringend implementiert werden, die umfassende Einführung eines Produktionssystems kann so jedoch nicht gelingen. Hier ist eine klare Selbstverpflichtung des oberen Managements sowie eine

konsequente Geduld in der Umsetzung die conditio sine qua non für das erfolgreiche produzierende Handeln in einem Produktionssystem.

Produktionssystem

Ein *Produktionssystem* ist die Systematik, die die in einer Produktion zulässigen methodischen Standards sachlogisch aufeinander aufbaut. Ein Produktionssystem legt fest, *wie* zu produzieren ist.

Ein Produktionssystem zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

1. Es ist gegliedert in *Handlungsfelder*.
2. Es enthält die Beschreibung der *Gestaltungsrichtlinien* sowie der untergeordneten Gestaltungsregeln und Methoden und legt diese als *Standard* fest.
3. Es dient der Verwirklichung einer schlanken Fabrik, ausgerichtet an den vier *Zieldimensionen* Variabilität, Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit.
4. Die mit den definierten Standards angestrebte kontinuierliche Verbesserung von Produktionsabläufen ist mit geeigneten *Kennzahlen* zu messen.
5. Als *Handlungssystem* wird es von den Mitarbeitern unter hoher *Mitverantwortung* getragen und kann auch nur dann erfolgreich sein, wenn sich alle den Zielen und Methoden verpflichtet fühlen.

Eine Fabrikplanung mündet immer in einen Fabrikbetrieb. Je größer der Druck ist, eine Produktion kontinuierlich zu verbessern, damit sie wettbewerbsfähig bleibt, desto mehr verschwinden die zeitlichen Differenzierungen zwischen Planung und Betrieb. Auch die Fabrikplanung wird zur kontinuierlichen Aufgabe, wie man gerne sagt. So eingängig dieses Argument auch ist, so sollte man nicht vergessen, dass sich grundsätzliche Änderungen im Gesamtablauf, so wie sie mit den hier vorgestellten Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns konzipiert werden, nicht im Alltag des Fabrikbetriebs planen lassen. Hier geht nur eines: Auf Distanz gehen, die Produktion in der Vogelperspektive der extern unterstützten Wertstromanalyse betrachten, sich fremd werden lassen, sich über scheinbar notwendige, aber doch unpraktische Lösungen ungezwungen wundern und schließlich mit der ganzen Kraft aktiven Vergessens von im Alltag eingetrichterten Restriktionen unter Zuhilfenahme der Gestaltungsrichtlinien des Wertstromdesigns eine zunächst visionäre Lösung entwickeln. Zuweilen muss man die von den Mitarbeitern ‚bewohnte' Fabrik neu zu denken wagen, um nicht in Gewohnheiten zu altern, sondern wieder verjüngt weiter wachsen und damit überleben zu können.

5 Projektbeispiele

Erst in der Anwendung zeigt sich, wie eine Methode genau funktioniert. Einsatz und Wirkungsweise der Wertstrommethode sind daher im Folgenden an Hand einiger Projektbeispiele ausführlich darzustellen. Um die Anwendungsbreite des Wertstromdesigns aufzuzeigen, wurden Beispiele unterschiedlicher Produktionstypen aus verschiedenen Branchen gewählt. Im Unterschied zu einem reinen Lehrbeispiel, das nur die Anwendung der Methode illustriert, ohne auf Besonderheiten in der Anwendung hinzuweisen, basieren die hier vorgestellten Beispiele auf Industrieprojekten. Die Projektbeispiele sind auch deshalb relativ komplex und umfangreich, da sich nur so die faktische Vorgehensweise in der Praxis veranschaulichen lässt. Reales Vorbild für die drei im Folgenden näher ausgeführten Beispiele sind die Firmen Beurer in Ulm, Brand in Anröchte sowie Saint Gobain Deutsche Glas in Aachen.

Trotz ihrer Vorbilder sind die Beispiele gegenüber der Wirklichkeit etwas vereinfacht und teilweise stark variiert, damit bestimmte Effekte besser herausgearbeitet werden können. So können auch Erfahrungen aus andern Projekten mit in die Beispiele einfließen. Voraussetzung einer erfolgreichen Anwendung der Wertstrommethode ist es, einerseits die Besonderheiten einer Produktion klar darzustellen und nicht etwa durch ungeschickte Vereinfachungen wegzumodellieren. Andererseits ist zu vermeiden, zu sehr ins Detail zu gehen, so dass die Aussagekraft der Durchschnittsbetrachtung in der Vielfältigkeit von Einzelergebnissen verloren geht.

Die Projektbeispiele decken drei wesentliche Fertigungsprinzipien der Produktion ab. In einer Unterbettenfertigung kann eine Fließfertigung im Einzelstückfluss eingeführt werden. Daran werden weitere Produktionsprozesse über eine FIFO-Verkopplung angebunden (Abschn. 5.1). Die intransparente Losfertigung einer Federnsetproduktion kann durch die Einführung einer Kanban-Regelung in der Planungslogik deutlich vereinfacht und im Produktionsdurchfluss beschleunigt und vergleichmäßigt werden (Abschn. 5.2). Nach Identifikation des Engpasses kann eine komplett kundenspezifische Herstellung von Sicherheitsglasscheiben besser planbar gemacht werden. Zudem wird die Produktion bei Einhaltung bestimmter, einfacher Reihenfolgerestriktionen für die Kundenaufträge im deutlich beschleunigten Produktionsdurchfluss überhaupt erst steuerbar (Abschn. 5.3).

5.1 Die Komfort GmbH – Transparenz durch Fließfertigung

Das Unternehmen

Produkt Die Komfort GmbH mit Sitz in Tübingen produziert in ihrem ungarischen Werk neben anderen Produkten auch heizbare Unterbetten für den europäischen Markt. Diese Unterbetten sorgen bei älteren Menschen oder bei heizungslosen Häusern im winterlichen Südeuropa für warme Betten. Zwischen zwei mit Schaumstoff kaschierten Stofflagen ist eine elektrische Heizkordel verlegt, die über einen Normstecker direkt mit dem Stromnetz verbunden werden kann. Produktvarianten entstehen durch verschieden Formate sowie unterschiedliche Anforderungen an die Stoffe und die Elektrik.

Da die saisonalen Bedarfsschwankungen extrem hoch sind – in den drei Herbstmonaten werden etwa 80 Prozent der Stückzahl verkauft –, muss teilweise mit sehr langem Vorlauf auf Lager produziert werden. Eine Besonderheit in diesem Fall ist, dass aufgrund ihres unterschiedlichen Nachfrageverhaltens drei Teilmärkte beziehungsweise Kundengruppen unterschieden werden müssen:

1. Die Gruppe der Discounter in Deutschland bestellt wenige Varianten in sehr hohen Stückzahlen. Der komplette Jahresbedarf ist an einzelnen Terminen im September oder Oktober zu liefern.
2. Die Eigenmarke der Komfort GmbH mit höherwertigen Produkten (größere Formate, elektronische Schaltung, höhere Heizleistung, andere Stoffqualitäten und Stoffdesigns sowie Einfassbänder, unterschiedliche Schaumstoffstärken) wird an den deutschen Einzelhandel in einem größeren Variantenspektrum vertrieben. Die Nachfrage verteilt sich über das ganze Jahr mit einer Bedarfsspitze im Winter.
3. Für das europäische Ausland werden Fremdfabrikate im Auftrag produziert. Hierbei gibt es zahlreiche länderspezifische Varianten, die den dortigen Normen (Niederspannung, Sicherheitsvorschriften) und spezifischen Vorlieben der Kunden angepasst sind. Hinzu kommen markenspezifische Verpackungsvarianten.

Die betrachtete Produktfamilie der Unterbetten gibt es für Einzel- und Doppelbetten sowie zusätzlich mit Fußbettwärmer. Bei der Wertstromanalyse wird für die Erfassung der Bearbeitungszeiten vom weitaus häufigsten Standardformat 150x80 cm ausgegangen.

Kundenbedarf Die Jahresgesamtstückzahl von 540.000 verteilt sich auf die drei Kundengruppen Discounter, Eigenmarke und Fremdfabrikate etwa im Verhältnis von 7:2:1. Für jede Kundengruppe ist ein eigener Kunden-

takt zu ermittelten; der Kundentakt für die gesamte Produktion errechnet sich aus dem Kehrwert der Summe der Kehrwerte zu 24 Sekunden (Abb. 5.1).

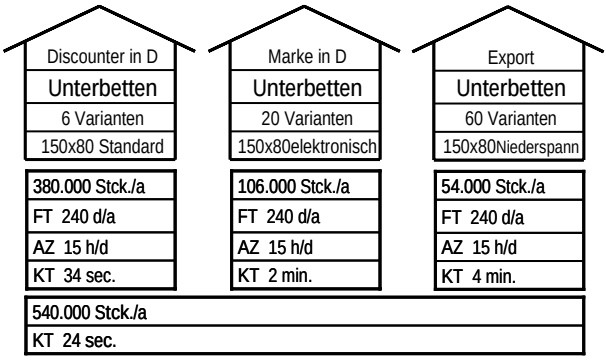


Abb. 5.1. Der Kundenbedarf bei der Komfort GmbH

In diesem Fall des reinen Saisongeschäfts hat die Angabe einer durchschnittlichen Verkaufsrate wenig mit dem wirklichen Verkaufsrhythmus zu tun. Da die Produktion jedoch ganzjährig erfolgen soll, ist für ihre Auslegung der durchschnittsbezogene Kundentakt durchaus verwendbar.

Wertstromanalyse

Produktionsprozesse Der erste Eindruck vom Shop Floor vermittelt das Bild eines Stapellagers für Stoffe. Mitarbeiter sind zunächst gar nicht zu sehen. Um die Arbeitsplätze herum sind die angearbeiteten Unterbetten in einmal gefalteten Stapeln zu je vierzig Stück auf quadratischen Rollwägen von knapp einem Meter Höhe bereitgestellt. Je nach Material ergeben sich Stapelhöhen von über zwei Metern, wobei ein Tagesbedarf bereits fast 60 Stapel ausmacht. Zwischen diesen Stapeln versteckt befinden sich die einzelnen Sitzarbeitsplätze mit Nähmaschinen und anderen Betriebsmitteln. An einer Seite der Halle befinden sich eine betagte Kaschieranlage und eine neue automatische Anlage zum Ultraschallschweißen. Der Prozessablauf stellt sich flussaufwärts betrachtet wie folgt dar (Abb. 5.2):

- **Verpacken** An sechs Arbeitsplätzen stellt jeweils eine Mitarbeiterin die Kartonage auf. Sie faltet das Unterbett und steckt es mit Beipackmaterialien, wie beispielsweise Benutzungsanleitungen, in den Karton. In einer Vorrichtung wird der Karton zugeklebt. Die einzeln in Kartons verpackten Unterbetten werden schließlich von einem Mitarbeiter aus der Logistik sortenrein auf Paletten gestapelt, versandfertig gemacht und bereitgestellt.

- **Prüfen** Die Unterbetten müssen auf Hochspannung geprüft werden. Es stehen zwei Prüfautomaten mit je zwei Prüfbetten, in die abwechselnd die Unterbetten eingelegt und angeschlossen werden, zur Verfügung. Jeder Prüfautomat wird von einem Mitarbeiter bedient. Die Prüfzeit beträgt 12 Sekunden, das Einlegen und Entnehmen eines Unterbettes insgesamt 20 Sekunden. Etwa ein Prozent der Unterbetten bestehen die Hochspannungsprüfung nicht.
- **Einfassen** An Einzelarbeitsplätzen werden die Einfassbänder und das Etikett angenäht.
- **Verriegeln** Die elektrischen Anschlüsse werden am Unterbett festgenäht.
- **Umspritzen** Die Anschlüsse werden zum Schutz vor Feuchtigkeit mit Harz umgossen.
- **Anschließen** Die Heizkordel des Unterbetts wird mit dem Anschlusskabel elektrisch verbunden. Das Anschlusskabel wird in einem anderen Bereich, der hier nicht betrachtet werden soll, vormontiert.
- **Abisolieren** Die Enden der Heizkordel werden nach außen geführt und abisoliert, damit die externe Stromversorgung angeschlossen werden kann. Dies ist der erste rein manuelle Einzelarbeitsplatz im Prozessablauf.
- **Ultraschallschweißen** Diese neue, hochautomatisierte Anlage verschweißt die in Rollen zugeführte Ober- und Unterseite der Unterbetten. Zudem wird die Heizkordel in Schleifen zwischen beiden Schichten ausgelegt. Insgesamt sechs Mitarbeiter sind für Materialwechsel und Abstapeln der verschweißten Unterbetten zuständig. Die 78 Varianten – durch Doppelverwendungen wenige als die 86 Endproduktvarianten – werden in Auftragslosgrößen zu 1.000 bis 20.000 Stück produziert.
- **Kaschieren** Diese betagte und daher unzuverlässige Anlage kaschiert den Stoff auf die jeweilige Schaumstoffunterlage. Die Anlage wird dreischichtig betrieben. Nach dem Kaschieren müssen die Stoffrollen einen Tag trocknen.

Für alle Produktionsprozesse werden Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Verfügbarkeiten und Gutausbeute aufgenommen und in der Wertstromdarstellung eingetragen (Abb. 5.2). Bei den manuellen Produktionsprozessen gibt es zwischen drei und fünf gleich ausgestattete, alternative Einzelarbeitsplätze. Nicht alle diese Arbeitsplätze sind während der Istaufnahme besetzt; entsprechend ist teilweise eine geringere Mitarbeiterzahl eingetragen. Die berechneten Zykluszeiten beziehen sich auf die Maximalkapazität, das heißt die Anzahl der Arbeitsplätze, nicht der Mitarbeiter. Durch den einprozentigen Ausschuss bei der Hochspannungsprüfung verringert

sich der Kundentakt von 24 auf 23,76 Sekunden für diesen und alle vorgelagerten Produktionsprozesse.

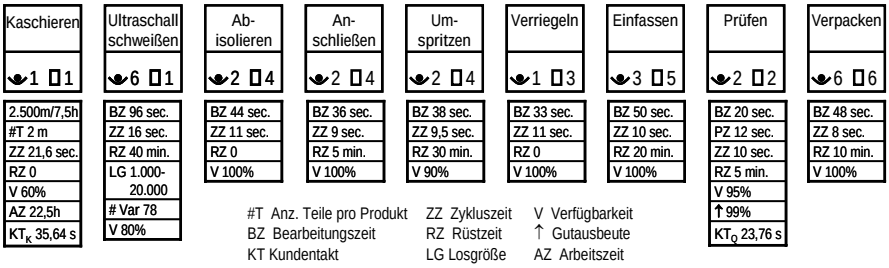


Abb. 5.2. Die Produktionsprozesse bei der Komfort GmbH

Die Berechnung der *Zykluszeit* für das Kaschieren ist etwas aufwendiger. Die Maschinenleistung beträgt 2.500 Meter pro Schicht. Der Aufwand für den Wechsel der Rohmaterialrollen ist dabei bereits berücksichtigt. Pro Unterbett werden zwei kaschierte Stoffbahnen à ein Meter Länge inklusive Verschnitt benötigt. Die Zykluszeit errechnet sich dann folgendermaßen zu 21,6 Sekunden:

$$ZZ = \frac{7{,}5\,\text{h}}{2.500\,\text{m}} \times 2\,\text{m} = 21{,}6\,\text{sec.} \qquad ZZ_V = \frac{ZZ}{V} = \frac{21{,}6\,\text{sec.}}{60\,\%} = 36\,\text{sec.} \tag{5.1}$$

mit: ZZ Zykluszeit
V Verfügbarkeit

Aufgrund der geringen Verfügbarkeit ist die Ausbringung des Kaschierprozesses jedoch deutlich geringer, so dass sich eine durchschnittliche Zykluszeit von 36 Sekunden ergibt (Gl. 5.1). Der Kundentakt beträgt aufgrund der dritten Schicht das Eineinhalbfache des Kundentaktes beim Prüfen, also 35,64 Sekunden. Der Vergleich mit der Zykluszeit zeigt, dass hier ein Engpass besteht.

Materialfluss Beim Rundgang werden 500 bereitgestellte Fertigprodukte gezählt, die jedoch nicht in die Produktionsdurchlaufzeit eingerechnet werden, da sie bereits in den Verantwortlichkeitsbereich des Fertigwarenlagers gehören. Zwischen den Bearbeitungsschritten auf den Wägen befinden sich insgesamt 11.640 Unterbetten in den unterschiedlichen Bearbeitungsstufen. Bei einem täglichen Kundenbedarf von 2.250 Stück ergibt sich eine Reichweite des Bestands auf dem Shop Floor von 5,4 Tagen. Hinzu kommt ein Bestand von 10.800 Meter kaschiertem Rollenmaterial. Bei einem Stückbedarf von zwei Metern entspricht das einer Reichweite von 2,4 Tagen, wobei die Trocknungszeit von 24 Stunden als Prozesszeit

vom Bestand abzuziehen ist. Ferner wird ein Bestand an Schaumstoffrollen von 117.000 Metern ermittelt, das entspricht einer Reichweite von 26 Tagen. Da das Fertigwarenlager aufgrund des Saisongeschäfts nach ganz anderen Kriterien als die Produktion zu bewirtschaften ist, werden die entsprechenden Bestände nicht berücksichtigt.

Werksexterne Logistik Der Betrachtungsbereich der Wertstromanalyse endet mit der Bereitstellung der Paletten zum Verladen oder Einlagern. Die Distributionslogistik mit dem Vorratslager in Werksnähe sowie dem Zentrallager für alle Produkte der Komfort GmbH in Tübingen soll nicht untersucht werden.

Exemplarisch für die die Lieferlogistik wird die Anlieferung des Schaumstoffs für das Kaschieren in der Wertstromdarstellung eingezeichnet. Den Schaumstoff in drei Stärken und teilweise zwei Breiten – insgesamt fünf Varianten – liefert die österreichische Megafoam AG auf Abruf nach jährlichen Kontrakten. Die Stoffe werden von zahlreichen, größtenteils überseeischen Anbietern in großen Mindestmengen bezogen. Die elektrischen Bauteile liefert die deutsche Zentrale.

Geschäftsprozesse Die Logistikabteilung im Werk Ungarn führt die Produktionsplanung basierend auf Bestellungen vom Zentrallager sowie den Vertriebsprognosen und den vom Vertrieb direkt übermittelten Kundengroßbestellungen durch. Mit der Software ‚ProPlan' werden Fertigungsaufträge mit Terminen auf Kalenderwochenbasis in den errechneten Losgrößen erstellt. Diese Fertigungsaufträge dienen der Steuerung des Ultraschallschweißens. Neben den losbezogenen Fertigungsaufträgen erhält das Schweißen zusätzlich noch für jeweils 40 Unterbetten ein Produktionsdatenblatt sowie einen Lohnschein. Diese Fertigungspapiere begleiten beide den Wagen, auf den die zugehörigen Unterbetten gestapelt werden. Die Mitarbeiter an den Produktionsprozessen flussabwärts erhalten so ihre Fertigungsunterlagen zusammen mit dem Material. Der Fertigungsauftrag wird auf den letzten Wagen eines Loses gelegt und löst die Auftragsfertigmeldung beim Verpacken aus.

Die Kapazitätsplanung auf Tagesbasis für die manuellen Prozesse vom Ultraschallschweißen flussabwärts erfolgt basierend auf den terminierten Fertigungsaufträgen in ‚Excel'. Ergebnis ist eine tabellarische Auftrags- und Kapazitätsübersicht, mit der unter Berücksichtigung der aktuellen Personal- und Betriebsmittelverfügbarkeit die Mitarbeiter den Arbeitsplätzen zugeteilt werden. Das Kaschieren wird passend zum auftragsspezifischen Materialbedarf mit Lohnscheinen für jede mit Schaumstoff zu kaschierende Stoffrolle gesteuert – entsprechende Fertigungsaufträge sind in der Software nicht implementiert.

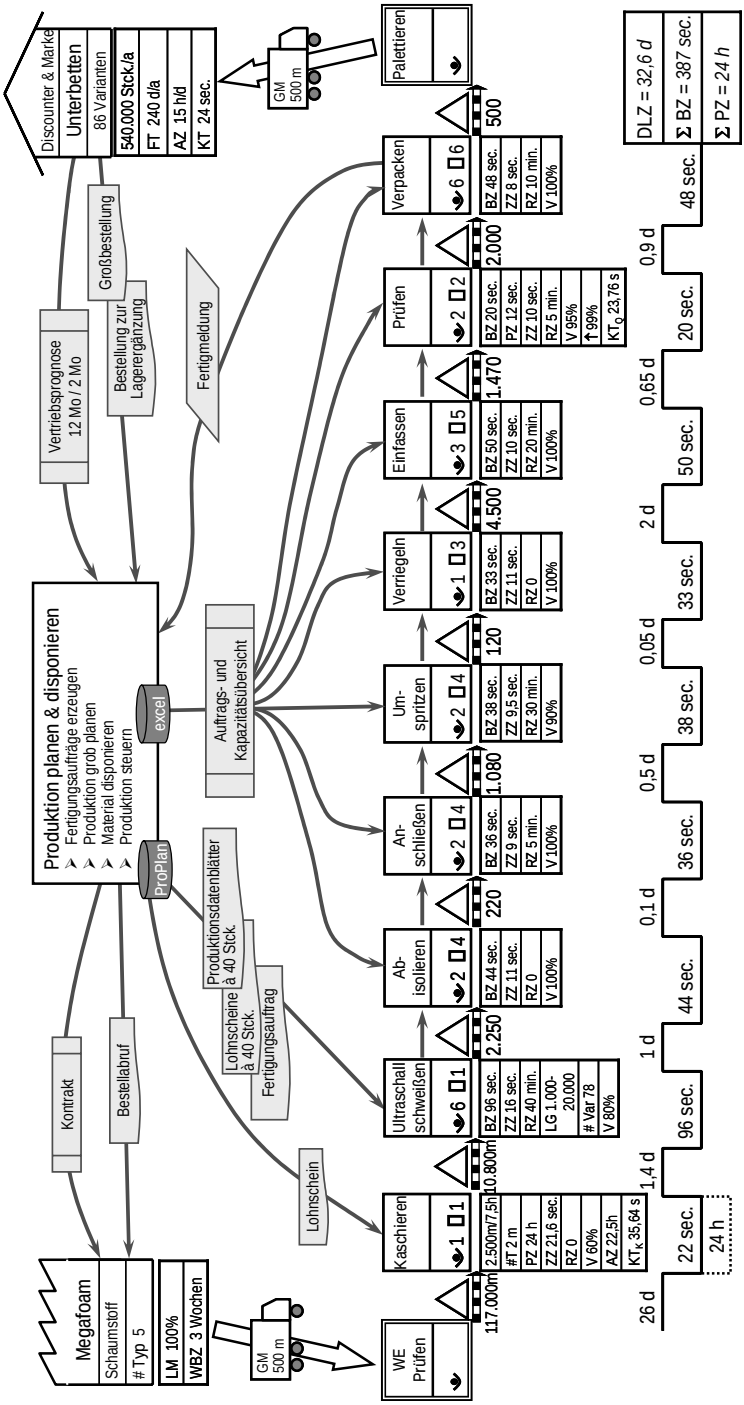


Abb. 5.3. Ergebnis der Wertstromanalyse bei der Komfort GmbH

Verbesserungspotentiale

Durchlaufzeit Die Kennlinie zeigt, dass der Rohmaterialbestand mit einer Reichweite von 26 Tagen den überwiegenden Anteil der Produktionsdurchlaufzeit ausmacht, und zwar 80 Prozent (Abb. 5.3). Der Work in Process steht mit 6,6 Tagen einer Gesamt-Bearbeitungszeit von 6,5 Minuten gegenüber – eine Fertigungsminute benötigt also einen Tag Durchlaufzeit. Dies ist ein durchaus typischer Wert für diese Art der Produktionssteuerung mit unabhängiger Kapazitätsplanung für alle Produktionsprozesse. Bei neun Produktionsprozessen beträgt die Durchlaufzeit auf dem Shop Floor pro Prozessschritt 0,75 Tage. Für jeden Prozess, der bei einer Umgestaltung in eine Fließfertigung integriert werden kann, entfällt dieser Zeitanteil. Bei sieben manuell geprägten Produktionsprozessen ergeben sich als Reduktionspotential für die Durchlaufzeit das Sechsfache des genannten Zeitanteils, also 4,5 Tage.

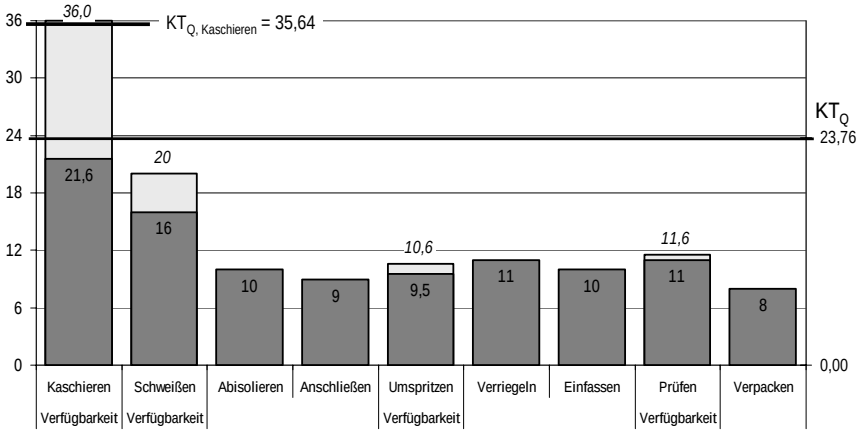


Abb. 5.4. Das Taktabstimmungsdiagramm bei der Komfort GmbH

Taktabstimmung Auffällig ist, dass die Zykluszeiten der manuellen Prozesse deutlich kleiner sind als der Kundentakt (Abb. 5.4). Es stehen also mehr kostengünstige Arbeitsplätze zur Verfügung, als für den durchschnittlichen Kundenbedarf benötigt werden. Außerdem kann nicht genügend kaschiertes und verschweißtes Vormaterial produziert werden, um alle diese Arbeitsplätze voll auszulasten. Beim Ultraschallschweißen auf der neu beschafften Anlage steht bei der derzeitigen Stückzahl mit einer um die Verfügbarkeit beaufschlagten Zykluszeit von 20 Sekunden noch eine Kapazitätsreserve von 18,8 Prozent zur Verfügung. Diese wird allerdings auch für das nicht ganz unaufwendige Rüsten benötigt. Das Kaschieren muss nur aufgrund der geringen Verfügbarkeit dreischichtig gefahren wer-

den. Und auch so verfehlt es den Kundentakt – allerdings so knapp, dass ein gelegentliches Ausweichen auf die Pausen oder eine Samstagsschicht zur Deckung des Bedarfs ausreichen.

Wertstromdesign

Zielsetzung Bei der Neugestaltung der Produktion steht die Erhöhung der Transparenz auf dem Shop Floor im Vordergrund. Die Bestände auf dem Shop Floor sollen drastisch gesenkt werden. Dies hat zwar wegen des Fertigwarenlagers für das stark saisonale Geschäft keine Auswirkungen auf die Liquidität, spart aber Produktionsfläche und lenkt den Blick auf weitergehende Prozessoptimierungen.

Produktionsprozesse Die fünf Produktionsprozesse Einfassen, Verriegeln, Umspritzen, Anschließen und Abisolieren lassen sich zu einer Fließfertigung zusammenfassen (Gestaltungsrichtlinie 2). Dadurch fallen die vier Zwischenpuffer zwischen den Einzelarbeitplätzen mit ihren hoch gestapelten Beständen ersatzlos weg. Die Unterbetten werden zwischen den Prozessschritten nicht mehr ab- und wieder aufgestapelt, sondern direkt zur nächsten Mitarbeiterin weitergegeben. Das hat neben dem verbesserten Produktionsfluss auch ergonomische Vorteile. Im ersten Schritt brauchten lediglich die vorhandenen Betriebsmittel in eine Reihe gestellt und mit einfachen Tischen verbunden werden. Der erste Eindruck der Mitarbeiter war, dass durch Wegfall des Ab- und Aufstapelns die Anstrengung bei der Arbeit sank.

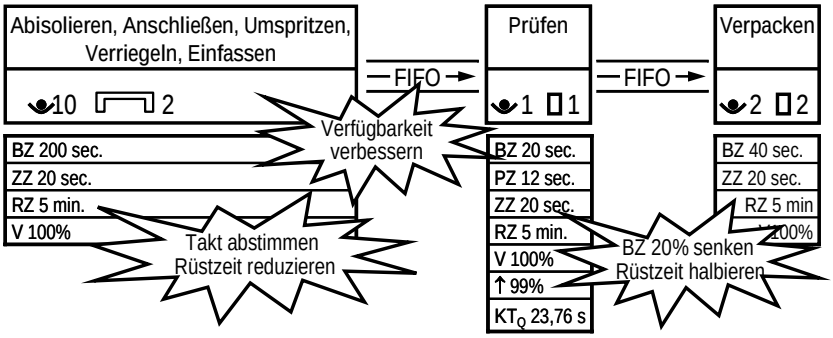


Abb. 5.5. Die umgestalteten Produktionsprozesse bei der Komfort GmbH

Als Anforderung an die Umgestaltung der einzelnen Arbeitsplätze in der neuen Linie ergeben sich die Erhöhung der Verfügbarkeit beim Umspritzen auf 100 Prozent sowie die Reduktion der Rüstzeit auf 5 Minuten. Die Anforderungen an die Fließlinie sind in den Kaizen-Blitzen eingetragen (Abb. 5.5). Mit Einführung der Fließfertigung wird sich die Übersichtlich-

keit auf dem Shop Floor deutlich erhöhen, so dass davon ausgehend die Effizienz der manuellen Arbeitsplätze verbessert werden kann. Das hilft bei der Bewältigung der schwierigsten Aufgabe, der Taktabstimmung zwischen den fünf Prozessschritten. Hier muss zunächst bei nahezu konstanter Bearbeitungszeit-Summe (200 Sekunden statt 201 Sekunden im Ist-Zustand) eine gleichmäßige Zykluszeit von 20 Sekunden über die ganze Fließlinie hinweg erreicht werden.

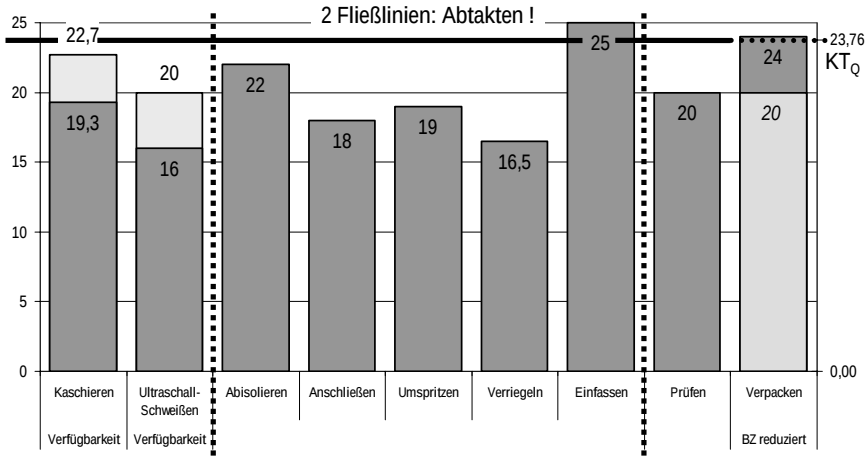


Abb. 5.6. Abstimmung der Kapazitäten bei der Komfort GmbH

Trägt man die Zykluszeiten in einem Taktabstimmungsdiagramm ein, dann zeigen sich die kapazitativen Engpässe. In der Fließfertigung sind dies das Einfassen und das Abisolieren, die mit 25 Sekunden beziehungsweise 22 Sekunden über dem angestrebten Zyklus der Fließfertigung von 20 Sekunden liegen (Abb. 5.6). Bei einem Kundentakt von 23,76 Sekunden bleibt bei einer Einrichtung von zwei Fließlinien über 15 Prozent Verteilzeit. Da teilweise die doppelte Anzahl an Bearbeitungsmaschinen vorhanden sind, können auf den Fließlinien die Standardprodukte gefertigt werden, während Sonderformate, doppelte Heizkordel oder kleine Auftragslose auf den verbliebenen Produktionseinrichtungen produziert werden. Durch diese Fokussierung wird die Produktionsoptimierung an den Fließlinien deutlich erleichtert. Dies unterstützt zudem eine Fabrikstruktur, in der die Betriebsmittel besser auf die Produkte abgestimmt werden können.

Materialfluss Der Prüfprozess ist etwa doppelt so schnell wie die Fließfertigung. Somit lässt sich eine Prüfvorrichtung recht einfach mit zwei Fließlinien über eine FIFO-Bahn verkoppeln (Gestaltungsrichtlinie 3). Je nach

Größe des FIFO-Puffers werden die Unterbetten über die Wägen bereitgestellt, oder, was besser wäre, direkt weitergegeben. Jede Fließlinie könnte dann einen der beiden Prüfplätze, die im Wechsel belegt werden, versorgen. In diesem Fall sollte die Verfügbarkeit der Prüfvorrichtung auf 100 Prozent erhöht werden. Die Rüstzeit von 5 Minuten entspricht dem Wert, der für die Fließlinien als Vorgabe gewählt worden ist (Abb. 5.5).

Damit auch die Verpackplätze über eine FIFO-Bahn angekoppelt werden können, sollte zur Synchronisation auch deren Rüstzeit auf 5 Minuten halbiert werden (Abb. 5.5). Die Verpackungszeit von derzeit 48 Sekunden liegt bei zwei Verpackplätzen exakt auf dem Kundentakt (nach Qualitätsprüfung) von 24 Sekunden. Um aber mit den Fließlinien im Takt zu arbeiten und um über etwas Verteilzeit zu verfügen, wird angestrebt, die Verpackungszeit auf 20 Sekunden je Einheit zu senken (Abb. 5.6).

Auch die Produktionsprozesse weiter flussaufwärts können über FIFO angekoppelt werden. Berücksichtigt man beim Ultraschallschweißen die eingeschränkte Verfügbarkeit von 80 Prozent, dann beträgt die erreichbare Zykluszeit nicht 16 Sekunden, sondern wie in den Fließlinien 20 Sekunden (Abb. 5.6). Es können also auch nicht mehr als zwei Fließlinien zugleich mit Material versorgt werden.

Das Kaschieren lässt sich über FIFO am einfachsten an den restlichen Wertstrom ankoppeln, wenn dieser Produktionsprozess ebenfalls zweischichtig betrieben wird. Eine passende Ersatzinvestition würde einen Mitarbeiter in der Nachtschicht einsparen. Geht man davon aus, dass die neue Anlage mit 2.800 Metern pro Schicht eine um gut 10 Prozent höhere Leistung hat, sinkt die Zykluszeit auf 19,3 Sekunden. Zusammen mit einer auf 85 Prozent verbesserten Verfügbarkeit bleibt die Anlage mit 22,7 Sekunden unter dem Kundentakt (Abb. 5.6).

Für den Schaumstofflieferanten Megafoam bietet sich eine Anbindung über Lieferanten-Kanban an, da es – im Unterschied zu den weiterhin konventionell zu beschaffenden Stoffen – nur fünf Varianten gibt (Gestaltungsregel 4). Ein Kanban entspricht dann einer Rolle zu 300 Metern. Wird eine Absenkung der Lieferzeit auf wenige Tage erreicht, dann kann der Bestand deutlich um einen Monat auf 6 Tage reduziert werden.

Durch die Umgestaltung sinkt die Produktionsdurchlaufzeit von 6,6 Tage um knapp 90 Prozent auf 0,82 Tage. Bezieht man den Rohmaterialbestand mit ein, dann konnte die Durchlaufzeit insgesamt um 80 Prozent reduziert werden. Auch beim Arbeitsinhalt wird im ersten Schritt eine Reduktion um knapp 10 Prozent angestrebt.

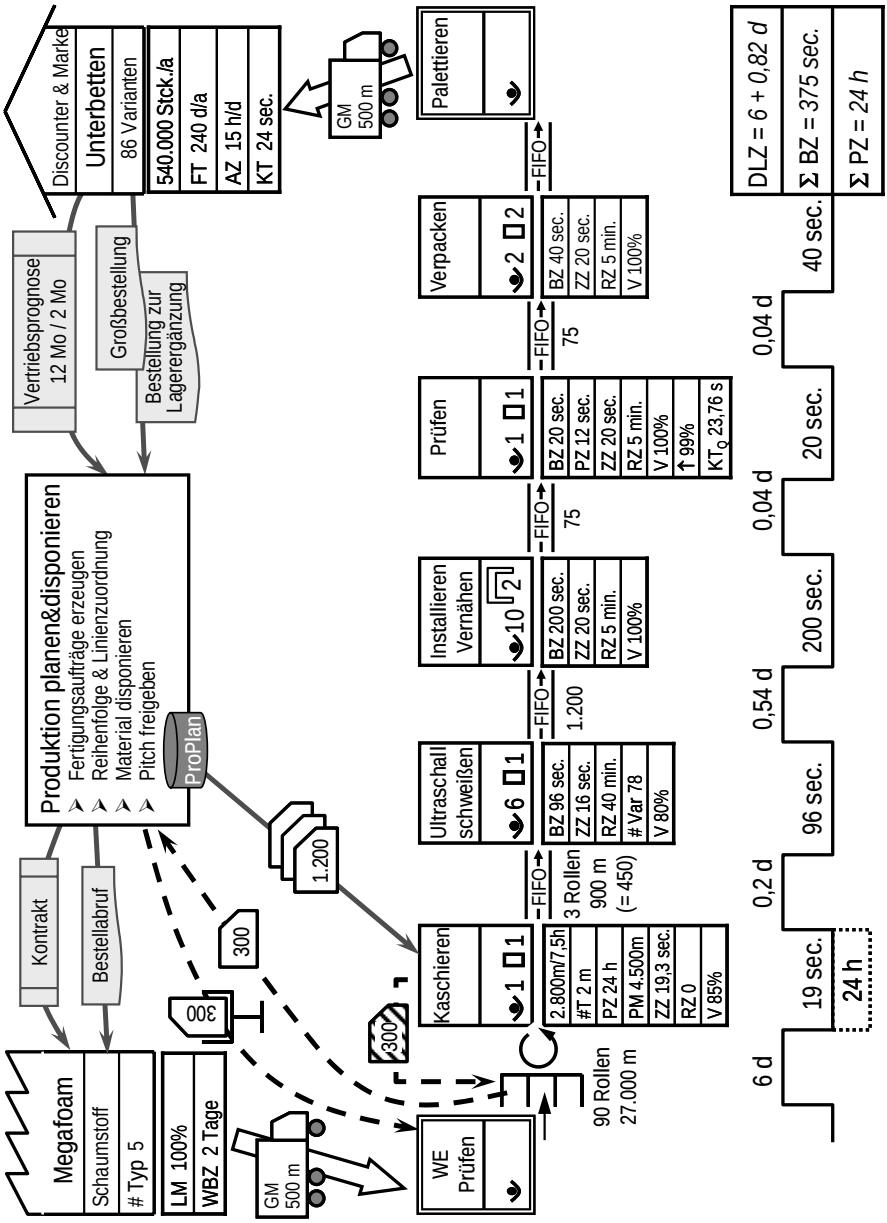


Abb. 5.7. Soll-Konzept für die Unterbetten-Produktion bei der Komfort GmbH

Produktionssteuerung Die im Planungsprogramm generierten Fertigungsaufträge werden beim Kaschieren in die Produktion eingesteuert (Gestaltungsrichtlinie 5). Als kleinstes sinnvolles Pitchintervall bietet sich

eine kaschierte Stoffrolle zu 300 Meter Länge an, das sind dann 150 Unterbetten (Gestaltungsrichtlinie 6). Bei einem Kundentakt von 24 Sekunden entspricht das dem Kundenbedarf einer Stunde. Dieser Pitchfestlegung steht jedoch der hohe Rüstaufwand beim Ultraschallschweißen entgegen. Die vierzigminütige Rüstzeit fällt an bei einer Änderung von Format, Kordeltyp oder Schweißmuster und macht einen Pitch von nur einer Stunde sinnlos. Wird lediglich der Stoff geändert, dann sinkt der Rüstaufwand auf nur 5 Minuten. Man könnte hier also mit Reihenfolgerestriktionen arbeiten. Da aber ohnehin überwiegend auf Lager für die nächste Saison produziert wird, fällt kein kurzfristig zu befriedigender Variantenmix an. Deshalb wird die einfachere und pragmatische Lösung gewählt, ein Pitchintervall von 1.200 Stück festzulegen. Dies entspricht acht Stoffrollen und vom Arbeitsinhalt etwas mehr als eine Schicht – mit dem erklärten Ziel, pro Schicht immer genau einen Pitch abzuarbeiten.

Fazit Die Wertstromanalyse hat den ersten Eindruck von der Produktion bestätigt und präzisiert. Der Bestand in der Produktion stört insbesondere deshalb, weil er an zahlreichen Stellen den Produktionsfluss immer wieder unterbricht. Durch Einführung der Fließfertigung sowie der FIFO-Verkopplungen und des Lieferanten-Kanban konnte die Durchlaufzeit sehr deutlich um 80 Prozent gesenkt werden (Abb. 5.7). Noch wichtiger ist jedoch, dass mit der gewonnenen Transparenz auf dem Shop Floor die Voraussetzung zur Produktionsoptimierung überhaupt erst geschaffen werden konnte. Die stark vereinfachte Produktionssteuerung macht zudem die meisten Fertigungspapiere überflüssig. Die Mitarbeiterinnen brauchen keine Lohnscheine mehr ausfüllen, da sehr einfach schichtweise die Ausbringung der Linien ermittelt werden kann.

5.2 Die Federn KG – Losbildung in der Variantenfertigung

Das Unternehmen

Produkt Die Federn KG mit Sitz in Darmstadt produziert Federn der unterschiedlichsten Bauart, wie Druckfedern, Zugfedern, Ventilfedern, Schenkelfedern, Torsionsfedern sowie Federnbaugruppen. Die Federn finden Verwendung in Türen und Toren, für Beschläge, im Fahrzeugbau sowie im Apparate- und Maschinenbau.

Kundenbedarf Näher betrachtet werden soll die Produktfamilie der geraden Kupplungsdämpferfedern. Sie werden im Fahrzeugbau im Antriebs-

strang eingesetzt. Die betrachteten Kupplungsdämpferfedern werden in 55 Varianten für einen Großkunden, die Kraft GmbH in Feuerbach, in einer Jahresstückzahl von 2,1 Millionen produziert. Die gesamte Produktion arbeitet im Dreischichtbetrieb mit einer Stunde Pause je Schicht an 250 Tagen im Jahr. Daraus ergibt sich ein Kundentakt von 9 Sekunden (Abb. 5.8).

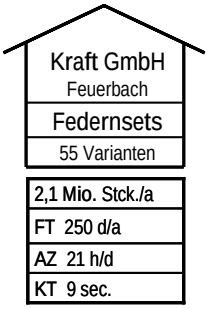


Abb. 5.8. Der Kundenbedarf bei der Federn KG

Wertstromanalyse

Produktionsprozesse Die betrachteten Kupplungsdämpferfedern werden als Federnset geliefert, die aus einer Außenfeder (AF) bestehen, in die eine Innenfeder (IF) eingefügt ist. Zudem wird auf beiden Stirnseiten eine Endkappe eingepresst. Der Prozessablauf stellt sich wie folgt dar:

- **Versenden** Die Federn werden als Schüttgut in einer Gitterbox versendet. Bereitstellen und Verladen einer Palette mit 2.000 Federn sowie Andruck und Zuordnung der Lieferpapiere benötigen durchschnittlich 20 Minuten. Hinzu kommt ein Aufwand von etwa 10 Minuten für das Vereinnahmen und Einlagern der aus der Produktion gelieferten Ware. Der Versand ist auch für andere Produktfamilien zuständig. Es stehen zwei Mitarbeiter einschichtig zur Verfügung.
- **Prüfen** Bei allen Federnsets wird abschließend der Verpresssitz der Endkappe – je nach Variante auf der Außen- oder der Innenfeder – geprüft. An zwei Prüfplätzen benötigt je ein Mitarbeiter 10 Sekunden für das Prüfen. Die zu prüfenden Federnsets werden von der Montage jeweils auf einem Förderband zugeführt. Beim Variantenwechsel muss die Messvorrichtung angepasst werden, was etwa zehn Minuten Zeit benötigt. Beim Prüfen wird ein Ausschuss von 5,5 Prozent ermittelt. Dadurch sinkt der Kundentakt für diesen und alle vorgelagerten Produktionsprozesse auf 8,5 Sekunden.
- **Montieren & Verpressen** Die Innenfeder wird in die Außenfeder montiert und anschließend mit den Endkappen verpresst. Federn und Kappen

werden den beiden manuellen Verpresseinrichtungen vereinzelt zugeführt. In diesem Prozess entstehen die 55 Varianten der Produktfamilie.

- **Anlassen & Warmsetzen** Die Federn werden von einem Mitarbeiter je Durchlaufofen in eine Aufnahme auf einem Förderband gelegt. Auf diesem Förderband befinden sich 120 Federn, die für einen Durchlauf 30 Minuten benötigen. Nach dem Anlassen werden die Federn direkt in den Setzautomaten geführt. Die Rüstzeit einer Linie beträgt 1,5 Stunden. Die Setzautomaten haben eine Zuverlässigkeit von 96 Prozent. Aus Prozessmenge und Durchlaufzeit ergeben sich für jede Linie ein Maschinenzyklus und damit eine Bearbeitungszeit von 15 Sekunden, das heißt eine Zykluszeit von 7,5 Sekunden.
- **Kugelstrahlen** Die Federn werden in einem 25-minütigen Programm kugelgestrahlt und dazu in Wannen zu je 200 Stück Außenfedern oder 300 Stück Innenfedern bereitgestellt. Es sind zwei Anlagen mit einer Verfügbarkeit von durchschnittlich 84 Prozent vorhanden. Sie werden nebenher von einem Mitarbeiter, der auch die innerbetrieblichen Transporte übernimmt, bedient. Ein Behälterwechsel mit Materialbereitstellung und Programmwechsel dauert etwa 5 Minuten. Aus der Teilemenge in den Wannen sowie Strahldauer und Beschickungsdauer ergibt sich eine Maschinenzykluszeit bei Außenfedern von 9 Sekunden und bei Innenfedern von 6 Sekunden – und damit ein Mittelwert für jede Anlage von 7,5 Sekunden. Da für jedes Federnset einerseits zwei Einzelfedern benötigt werden und andererseits zwei Anlagen zur Verfügung stehen, entspricht dies auch der Zykluszeit des Prozesses.
- **Schleifen & Entgraten** Die Stirnseiten der Federn werden geschliffen und unmittelbar danach an einer mit der Schleifmaschine verketteten Maschine entgratet. Die Schleifdauer ist abhängig vom Drahtdurchmesser bei den Außenfedern mit 10 Sekunden deutlich größer als bei den Innenfedern mit 4 Sekunden.
- **Anlassen** Die Federn durchlaufen den Ofen als Schüttgut auf einem Förderband in 20 Minuten. Es sind zwei Durchlauföfen vorhanden, die jeweils eine Menge von bis zu 300 Federn aufnehmen können.
- **Winden** Der erste technische Prozess ist das Winden und Ablängen der Federn aus Draht. Hier entstehen zahlreiche Varianten durch Unterschiede beim Draht-Material, beim Draht-Durchmesser, beim Federndurchmesser sowie bei der Federnlänge. Die Zeitdauer für das Winden pro Feder ist vor allem vom Drahtdurchmesser abhängig und liegt zwischen 5,2 und 12,8 Sekunden. Der nach Stückzahlen gewichtete Durchschnitt beträgt bei den Außenfedern 11,5 Sekunden, bei den Innenfedern 9,5 Sekunden. Pro Federnset ergibt das eine Bearbeitungszeit von 21 Sekunden. Bei drei Maschinen liegt die Zykluszeit bei 7 Sekunden. Der

Umrüstaufwand beträgt bei Änderungen der Federngeometrie zwei Stunden. Je nach Gängigkeit der Federnvariante liegt die Losgröße zwischen 2.000 Stück und 20.000 Stück. Für jede Windemaschine steht ein Mitarbeiter für Rüsten, Materialwechsel, Fehlerbehebung und Abtransport der Fertigteile zur Verfügung.

- **Entladen** Für die Federn werden als Rohmaterial Drahtcoils benötigt. Das Entladen und Einlagern wird von den Versand-Mitarbeitern übernommen. Die Wareneingangstätigkeiten werden aufgrund ihres geringen Umfanges nicht einzeln aufgenommen.

Für alle Produktionsprozesse werden Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Verfügbarkeiten und Gutausbeute aufgenommen (Abb. 5.9). Federn und Federnsets werden aufgrund der Rüstzeiten in großen Losen gefertigt. Daraus ist der EPEI-Wert im Ist-Zustand zu errechnen. Bei der Federn KG wird je Artikelnummer eine wirtschaftliche Losgröße auf Basis der Andlerschen Losgrößenformel errechnet (vgl. Gl. 2.4). Bei seltenen Varianten werden Mindestmengen angesetzt. Insgesamt ergibt sich so normalerweise für jeden Produktionsauftrag eine andere Losgröße.

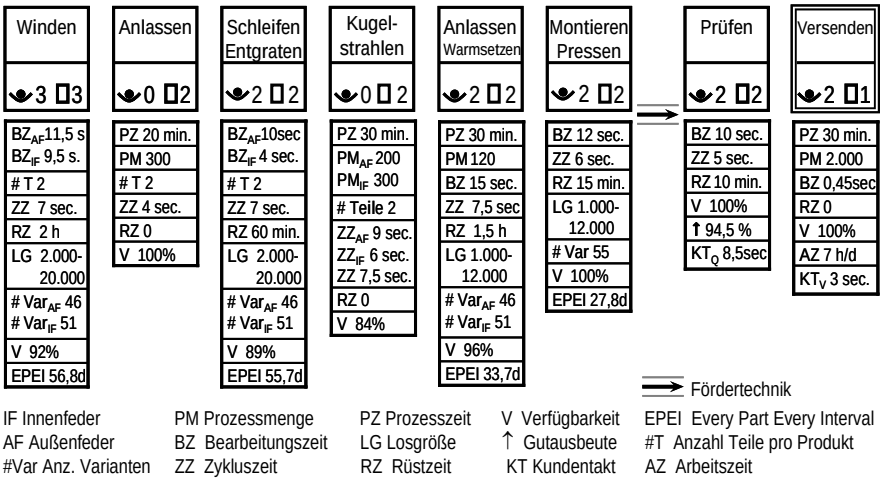


Abb. 5.9. Die Produktionsprozesse bei der Federn KG

Die *Losgrößen* beim Montieren liegen zwischen 1.000 und 12.000 Stück, im Mittel bei 6.000 Stück. Bei einer Bearbeitungszeit von 12 Sekunden ergeben sich Maschinenbelegungszeiten pro Los von 3,3 bis 36,6 Stunden. Die Rüstzeit auf beiden mit unterschiedlichen Losen belegten Anlagen beträgt 1,5 Stunden. Bei 55 Varianten ergibt sich unter Berücksichtigung einer täglichen Arbeitszeit von 21 Stunden nach Gleichung 2.5 für den EPEI-Wert:

$$EPEI = \frac{\#Var \times ((LG \times BZ) + RZ)}{\#Res} = \frac{55 \times ((6.000 \times 12s) + 15\text{min})}{2} = 584\text{ h} = 27{,}8\text{ d}$$

mit: # Var Anzahl der Varianten [Stck.]
Res Anzahl gleicher Ressourcen [Stck.]
LG Losgröße (Durchschnitt) [Stck.]
BZ Bearbeitungszeit pro Stück (Durchschnitt) [Zeiteinheit]
RZ Rüstzeit [Zeiteinheit]

(5.2)

Beim Warmsetzen, Schleifen und Winden werden die Einzelfedern in Losen bearbeitet. Da pro Federnset eine Innen- und eine Außenfeder benötigt werden, ergibt sich rechnerisch die doppelte Variantenzahl von 110 Stück. Aufgrund von Mehrfachverwendungen sind es jedoch lediglich 97 Stück, 46 Außen- und 51 Innenfedern. Aufgrund der unterschiedlichen Variantenanzahl und der unterschiedlichen Bearbeitungszeiten sind die EPEI-Werte teilweise getrennt zu errechnen und dann zu addieren. Für die drei Prozesse ergibt sich damit:

$$\text{EPEI}_{\text{Warmsetzen}} = \frac{97 \times ((6.000 \times 7{,}5\text{sec.}) + 1{,}5\text{h})}{2 \times 0{,}96} = 33{,}7\text{ d}$$

$$\text{EPEI}_{\text{Schleifen}} = \frac{51 \times ((8.000 \times 4\text{sec.}) + 1\text{h})}{2 \times 0{,}89} + \frac{46 \times ((12.000 \times 10\text{sec.}) + 1\text{h})}{2 \times 0{,}89} = 55{,}7\text{ d} \qquad (5.3)$$

$$\text{EPEI}_{\text{Winden}} = \frac{51 \times ((11.000 \times 9{,}5\text{sec.}) + 2\text{h})}{3 \times 0{,}92} + \frac{46 \times ((11.000 \times 11{,}5\text{sec.}) + 2\text{h})}{3 \times 0{,}92} = 56{,}8\text{ d}$$

Materialfluss Beim Werksrundgang wird an fünf Stellen Material gezählt. Dies wird durch Lagerdreiecke zwischen den Prozessen dargestellt. Grundlage für die Umrechnung in Reichweiten ist ein Kundenbedarf von 8.400 Federnsets pro Tag, was einem Bedarf von 16.800 Federn entspricht.

- **Fertigwarenlager** Hier befinden sich 20 komplette Gitterboxen à 2.000 Federnsets sowie 5 komplette Gitterboxen à 2.000 Federnsets versandfertig in der Bereitstellzone. Außerdem sind 14 teilgefüllte Gitterboxen eingelagert, die überwiegend Varianten mit geringem Kundenbedarf enthalten. Aus den Beschriftungen der Boxen ergibt sich hierfür eine Gesamtzahl von 8.800 Federnsets. In Summe sind 58.000 Sets vorhanden, woraus sich nach Division mit 8.800 Stück eine Reichweite von sieben Tagen ergibt.
- **WIP Montieren, Pressen & Prüfen** Aufgrund der großen Losgrößen sind auch die in Arbeit befindlichen Lose durchlaufzeitrelevant. Diese drei Prozesse sind durch Fördertechnik fest verkettet und bearbeiten zum Aufnahmezeitpunkt eine Fertigungsauftrags-Losgröße von 4.000 Federnsets sowie eine von 6.000 Sets. Diese 10.000 Sets entsprechen einer Reichweite von 1,2 Tagen.

- **Zwischenlager** Hinter dem Anlassen befinden sich inklusive der in Arbeit befindlichen Lose Wannen mit insgesamt 33.600 Innen- und Außenfedern. Das entspricht einer Reichweite von 2 Tagen.
- **Halbfabrikatlager** Im Zwischenlager für kugelgestrahlte Federn befinden sich 399 Wannen mit je 200 Außenfedern sowie 170 Wannen mit je 400 Innenfedern. Die insgesamt 147.800 Federn ergeben eine Reichweite von 8,8 Tagen.
- **WIP Schleifen, Entgraten & Kugelstrahlen** Geschliffene Federn werden im zweiten Arbeitsgang des entsprechenden Fertigungsauftrags sogleich kugelgestrahlt. Bei der Istaufnahme werden ein Fertigungslos von 8.000 Außenfedern und eines von 4.000 Innenfedern bearbeitet. Das entspricht einer Reichweite von 0,7 Tagen.
- **Zwischenpuffer** Die angelassenen Federn werden in der Regel nach kurzer Übergangszeit weiter bearbeitet. Es werden 23.500 Federn gezählt.
- **WIP Winden & Anlassen** Federn dürfen nach dem Winden aus Qualitätsgründen nicht lange gelagert werden. Daher erstreckt sich ein Fertigungsauftrag immer gemeinsam auf das Winden und das anschließende Anlassen. Bei der Istaufnahme werden ein Fertigungslos von 6.000 Außenfedern und eines von 9.000 Innenfedern bearbeitet.
- **Rohmateriallager Drahtcoils** Die Coils haben je nach Drahtstärke ein Gewicht von 500 bis 1.500 kg. Es sind 74 Coils mit einem Gesamtgewicht von 72.600 kg vorhanden. 1.000 Federnsets wiegen im gewichteten Durchschnitt 500 kg. Wegen Ausschuss und Materialverlusten beim Coilwechsel muss ein Materialzuschlag von zehn Prozent angenommen werden. Daraus errechnet sich ein Bestand von 132.000 Federnsets, was einer Reichweite von 15 Tagen entspricht.

Werksexterne Logistik Die Federn werden als Schüttgut in einer Gitterbox versendet. Der Versand erfolgt täglich per Spedition in Paletten zu 2.000 Federn. Für die Anlieferung von Drahtcoils gibt es zwei Lieferanten. Die Firma Ståltråd in Noorköping, Schweden liefert 355 to. jährlich in drei Qualitäten mit insgesamt fünf Abmessungen, die Acero S.A. in Bilbao, Spanien liefert 800 to. jährlich in fünf Qualitäten mit insgesamt elf Abmessungen. Die Lieferungen kommen dienstags oder donnerstags per Spedition. Die Lieferzeit beträgt jeweils sechs Wochen; drei der fünf sehr gängigen Abmessungen aus Noorköping werden auf Bestell-Abruf nach einer Woche geliefert.

Geschäftsprozesse Die Federn KG plant prognoseorientiert auf Basis der vom Kunden übermittelten Bedarfsvorschau. Für mehrere Produktionsprozesse wird darauf basierend ein Fertigungsplan erstellt. Halbfabrikate und

Endprodukte werden nach Plan auf Lager produziert. Die Auftragsabwicklung ist in drei Geschäftsprozesse gegliedert.

- **Versand abwickeln** Der Kunde schickt seine Bestellung wöchentlich per EDI an die Federn KG. In der Versandabteilung werden die automatisch in SAP erfassten Aufträge auf sachliche Richtigkeit und Lieferfähigkeit geprüft und freigegeben. Entsprechend der Liefermenge wird die Spedition avisiert. Es werden eine tägliche Versandliste sowie die benötigten Lieferscheine erstellt. Von der Produktion gelieferte Ware wird dem Fertigwarenbestand zugebucht; die zur Lieferung bereitgestellte Ware wird vom Fertigwarenlager abgebucht. Alle Aufgaben dieses Geschäftsprozesses werden von den Mitarbeitern des Produktionsprozesses ‚Versenden' mit übernommen.
- **Produktion planen** Basierend auf der täglich per EDI vom Kunden aktualisierten Bedarfsvorschau über sechs Wochen wird ein täglich aktualisierter Fertigungsplan mit Wochenhorizont für das Winden, das Schleifen, das Warmsetzen und die Montage erstellt. Die vier Fertigungspläne werden als Excel-Tabelle erstellt, wobei Fertigungslosgrößen manuell festzulegen sind und die geplanten Zu- und Abgänge in den Lägern berücksichtigt werden. Der Fertigungsplan für das Schleifen entspricht dem um einen Tag verschobenen Plan für das Winden. Hier muss jedoch je nach tatsächlicher Teileverfügbarkeit vom vorgegebenen Plan abgewichen werden. Anlassen und Kugelstrahlen erhalten keinen eigenen Fertigungsplan, da sie in überlappender Losfertigung mit den jeweils vorgelagerten Produktionsprozessen direkt von den Mitarbeitern gesteuert werden. Hier ist in der Wertstromdarstellung jeweils ein Go-See-Symbol einzutragen.
  Von der Produktionsplanung wird ferner ein Entnahmebeleg für die beim Winden benötigten Coils erstellt. Ebenfalls beim Winden werden Teilebegleitschein und Lohnschein als Fertigungspapiere den Aufträgen beigelegt. Die freigegebenen Fertigungsaufträge werden im SAP angelegt und nach dem Prüfen fertiggemeldet. In der Produktionsplanung arbeitet ein Mitarbeiter.
- **Disponieren & Bestellen** Basierend auf der Bedarfsvorschau des Kunden, den Hochrechnungen der Federn KG, den freigegebenen Fertigungsaufträgen sowie den Rohmaterialbeständen ermittelt SAP eine vierzehntägige und eine zweimonatige Bedarfsvorschau für die Lieferanten. Ebenfalls werden vom System Bestellvorschläge gemacht, die der Dispositionsmitarbeiter nach Prüfung andruckt und per Fax an die Lieferanten schickt.

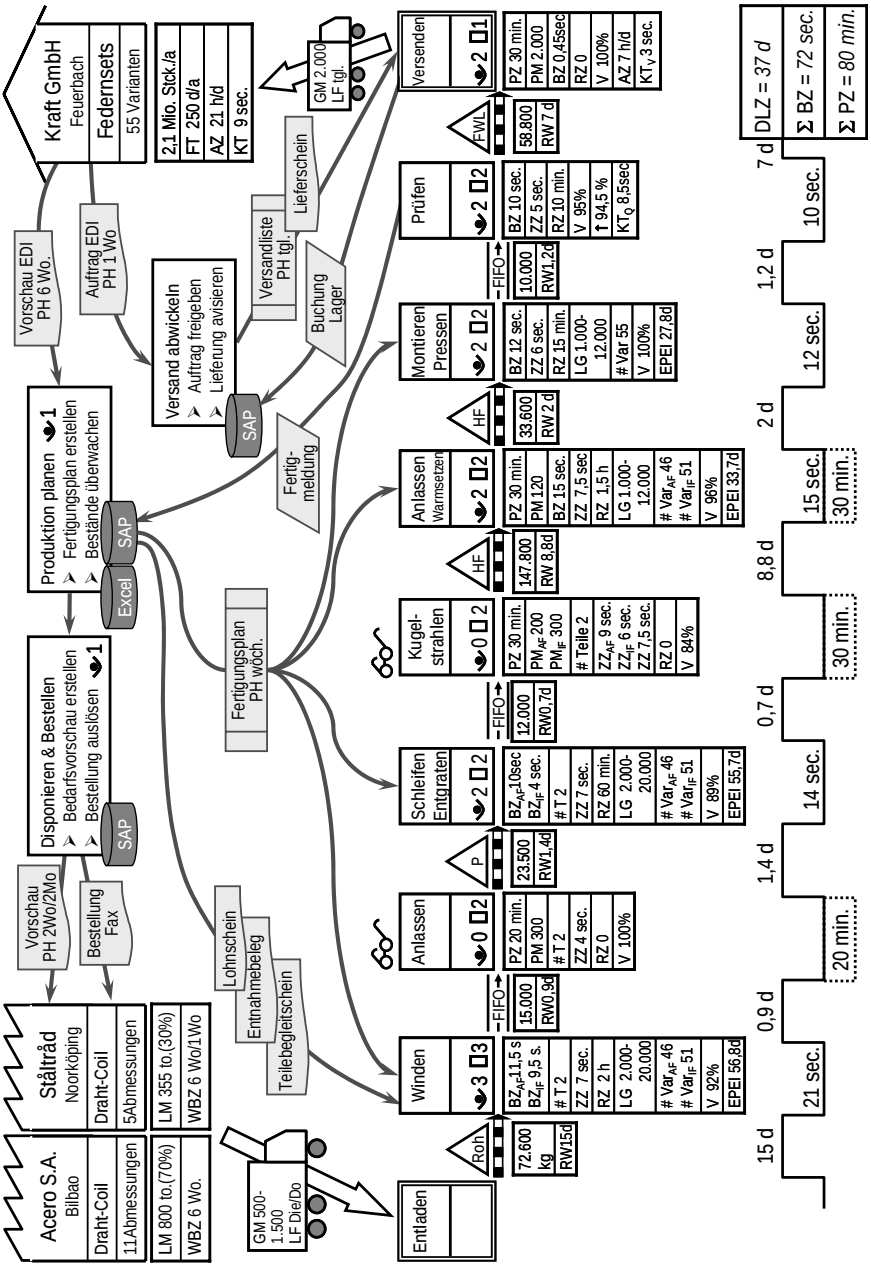


Abb. 5.10. Ergebnis der Wertstromanalyse der Federn KG

Verbesserungspotentiale

Durchlaufzeit Die gesamte Durchlaufzeit ist mit 37 Tagen sehr hoch, wobei nach Abzug des Rohmaterials immer noch ein WIP (Work in Process) von 22 Tagen bleibt, das sind 60 Prozent Anteil (Abb. 5.10). Im Vergleich dazu ist die Bearbeitungszeit pro Federnset von 72 Sekunden verschwindend gering. Da von allen gängigen Varianten immer 2.000 Stück in einem Gebinde zusammengefasst sind, liegt der Arbeitsinhalt der kleinsten sinnvollen Losgröße allerdings bei 40 Stunden. Würde man in der ansonsten auftragsfreien Fabrik ein derartiges Minimal-Los sequentiell abarbeiten, wäre es bei Berücksichtigung der Prozesszeiten von 80 Minuten in knapp 42 Stunden, also nach zwei Arbeitstagen fertig. Bei überlappender Fertigung könnte man noch schneller sein. Das ist das theoretische Durchlaufzeitpotential.

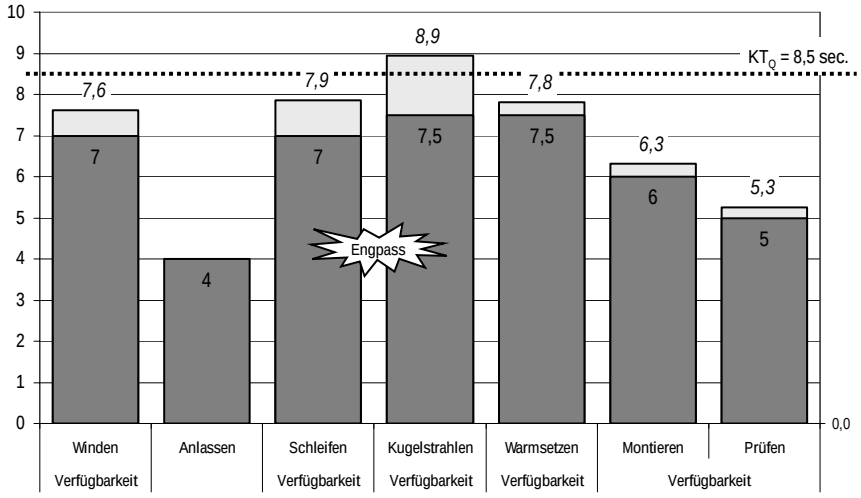


Abb. 5.11. Das Taktabstimmungsdiagramm bei der Federn KG

Taktabstimmung Das Taktabstimmungsdiagramm (Abb. 5.11) zeigt den Engpass des Wertstroms an einer eher überraschenden Stelle: beim Kugelstrahlen, was sicherlich nicht der teuerste Prozessschritt ist, der daher knapp ausgelegt sein müsste. Diese kritische Position ist nicht gleich zu erkennen, da unter idealen Bedingungen die Zykluszeit des Kugelstrahlens mit 7,5 Sekunden noch deutlich unter dem Kundentakt von 9 Sekunden liegt. Bei Berücksichtigung der Verfügbarkeit berührt der Anlagenzyklus mit 8,93 Sekunden nahezu den Kundentakt. Da im abschließenden Prüfprozess 5,5 Prozent der Endprodukte aus Qualitätsgründen aussortiert werden, liegt der zu erreichende Kundentakt jedoch niedriger, nämlich bei 8,5

Sekunden. Das Kugelstrahlen kann den Kundenbedarf offenbar gar nicht decken. Wie ist das nun möglich? Nachfragen ergeben, dass, da der Prozess automatisch läuft, die Arbeitspausen großteils mit genutzt werden können. Dadurch liegt die verfügbare Arbeitszeit bei 24 anstatt der berechneten 21 Stunden, so dass der prozessspezifische Kundentakt bei 9,7 Sekunden liegt (vgl. Gl. 2.7).

Ebenfalls sehr dicht am Kundentakt liegt das Schleifen. Hier bleibt nur gut 7 Prozent Zeitanteil für das Rüsten. Die eingeschränkte Verfügbarkeit der Prüfplätze muss auch beim ausfallsicheren Montieren berücksichtigt werden, da beide Prozesse miteinander fördertechnisch verkoppelt sind.

Wertstromdesign

Zielsetzung Bei der Umgestaltung der Federnproduktion gilt es insbesondere, eine deutliche Reduktion der Bestände durch eine besser aufeinander abgestimmte Losfertigung zu erreichen. Insgesamt soll näher am Kundenbedarf produziert werden, wobei eine wöchentliche Bedarfsschwankung von bis zu 30 Prozent über dem Durchschnittswert berücksichtigt werden soll. Außerdem sollen durch Automatisierung die Personalkosten gesenkt werden.

Produktionsprozesse Die manuelle Montage mit dem Verpressen und anschließenden Prüfen kann in einer Einheit automatisiert werden (Gestaltungsrichtlinie 2). In einer solchen Anlage ist eine Zykluszeit von 4 Sekunden erreichbar, so dass eine Anlage ausreichend ist. Besonderes Augenmerk muss auf die Rüstaufwände gelegt werden, damit nicht zu große Lose erzwungen werden. Zielsetzung ist es, mit 30 Minuten die Rüstzeit gegenüber dem Ist-Zustand maximal zu verdoppeln.

Aus Sicht der Produktqualität ist es vorteilhaft, kugelgestrahlte Federn möglichst schnell zu montieren. Wird dies so umgesetzt, steigt die Gutausbeute beim Prüfen auf 97 Prozent. Dadurch erhöht sich der qualitätsbezogene Kundentakt auf 8,75 Sekunden. Gelingt es, die Verfügbarkeit beim Kugelstrahlen auf 88 Prozent zu erhöhen, dann liegt der Zyklus dieses Prozesses mit 8,5 Sekunden auch wieder im Kundentakt.

Materialfluss Der Wertstrom wird in zwei Abschnitte eingeteilt – die Federnherstellung als Halbfabrikatfertigung sowie die Herstellung der Federnsets. Letztere beginnt beim Kugelstrahlen flussabwärts bis zum Versenden. Damit die Produktionsprozesse synchron arbeiten können, ist auch die Rüstzeit beim Warmsetzen auf 30 Minuten zu reduzieren. Dann ist eine Verkopplung der Prozesse über FIFO-Bahnen möglich (Gestaltungsrichtlinie 3). Es sollen immer gleichzeitig die beiden Innen- und Außenfedernvarianten warmgesetzt werden, die anschließend zu montieren

sind. Die Puffermengen sind so auszulegen, dass sie den Wannentransport im Pendelverkehr vom Kugelstrahlen zum Warmsetzen sowie den anschließenden Transport zu den Sortern beim Montieren ermöglichen. Die Verkopplung zwischen Warmsetzen und Montieren könnte man auch als fördertechnische Verkettung ausführen, wodurch dann zwei Durchlauföfen, zwei Setzautomaten und ein Montageautomat eine Einheit bilden würden. Das würde den Zwischenpuffer weiter reduzieren. Allerdings addieren sich dann die Störzeiten und variantenabhängige Schwankungen in den Bearbeitungszeiten wären nicht mehr abzupuffern. Deshalb wird auf diese Lösung zunächst verzichtet.

Die Halbfabrikatfertigung setzt sich aus Winden, Anlassen sowie Schleifen und Entgraten der Federn zusammen. Die drei Prozessschritte werden ebenfalls über FIFO verkoppelt. Da es drei Windemaschinen, aber nur zwei Öfen und zwei Schleifmaschinen gibt, kann nicht durchgängig in überlappenden Losen produziert werden. Hinter dem Winden muss immer mindestens ein Los, vorzugsweise ein kleines, komplett gesammelt werden, bevor es angelassen werden kann. Bei geschickter Shop-Floor-Steuerung werden die großen Lose durchgefertigt und die kleinen Lose dann dazwischen geschoben. Insgesamt wird der Puffer in diesem Abschnitt mit 2 Tagen deutlich höher als im Montageabschnitt mit 0,5 Tagen angesetzt.

Um Kundenbedarfsschwankungen abzupuffern, wird im Montageabschnitt bis zu einer halben Woche vorproduziert. Dies ist dank der Vorschau des Kunden ohne große Abweichungen realisierbar. Orientiert man sich bei der Vorproduktion überwiegend an den Rennerartikeln, dann ist auch bei Abweichungen der tatsächlichen Bestellmengen ein Abfluss der Produkte wenige Tage danach sichergestellt.

Die beiden Wertstromabschnitte sind über eine Kanban-Regelung zu verknüpfen (Gestaltungsrichtlinie 4). Durch die Entkopplung der beiden Abschnitte können die Federnsets relativ zügig kundenauftragsbezogen montiert werden. Ein Großteil der Produktionsdurchlaufzeit fällt auf den kundenauftragsanonymen ersten Wertstromabschnitt. Die Kanban-Entkopplung ermöglicht größere Losgrößen beim Winden und regelt automatisch die Mehrfachverwendung von Einzelfedern in unterschiedlichen Set-Varianten. Zudem können passend zur jeweils materialspezifisch verfügbaren Coil-Länge leicht abweichende Losgrößen beim Winden realisiert werden, ohne dass dadurch eine Kundenauftragsmenge verfehlt würde. Die Kanban-Logik hilft, die jeweiligen Über- und Untermengen abzupuffern.

Ein Lieferanten-Kanban erscheint aufgrund der langen Lieferzeit und der großen Entfernung derzeit nicht realisierbar. Die Vorschau des Kunden eignet sich gut zur relativ bestandsarmen Rohmaterialdisposition, die angesichts der Variantenvielfalt auch beim Material bereits im Ist-Zustand recht gut realisiert ist.

Produktionssteuerung Der Einsteuerungspunkt für die Kundenbestellungen befindet sich beim Kugelstrahlen direkt hinter dem Supermarktlager (Gestaltungsrichtlinie 5). Als Pitchintervall sehr gut geeignet ist die Liefereinheit einer Palette zu 2.000 Stück Federnsets (Gestaltungsrichtlinie 6). Diese Menge entspricht einem Kundenbedarf von 5 Stunden. Die Kundenaufträge können im Planungshorizont von 5 Tagen in den Varianten gemischt werden (Gestaltungsrichtlinie 7). Es gibt 10 Exoten-Varianten, deren Jahresstückzahl sich zwischen 160 und 2220 Stück bewegt. In diesen wenigen Fällen wird man sinnvoller Weise vom einheitlichen Pitch abweichen.

Die einheitliche Losgröße passt nicht zur Behältermenge der Innenfedern beim Kugelstrahlen. Die 2.000 Innenfedern werden künftig auf 7 Wannen aufgeteilt, so dass sich bei einer Behältermenge von 286 Stück die Zykluszeit von 6 auf 6,3 Sekunden erhöht. Der durchschnittliche Zyklus von 7,65 Sekunden erhöht sich durch die verbesserte Verfügbarkeit von 88 Prozent auf 8,7 Sekunden und liegt damit noch knapp unter dem qualitätsbezogenen Kundentakt von 8,75 Sekunden.

Die Einzelfedern werden über Signal-Kanban in teilweise größeren Losgrößen nachgefertigt. Eine ABC-Analyse ergibt 12 A-Federn, 19 B-Federn und 66 C-Federn. Je nach Klasse werden die Kanban-Mengen 8.000, 4.000 und 2.000 festgelegt. Der durchschnittliche Bestand im Supermarkt-Lager lässt sich aus der Bestellmenge abschätzen. Dabei sei angenommen, dass bei den A- und B-Federn durchschnittlich die Hälfte im Lager ist, während bei den C-Federn außer den gerade nachbestellten Varianten immer der komplette Bestellbestand vorhanden ist.

$$B = \frac{BM_{\text{A \& B - Klasse}}}{2 \times \frac{Stck}{FT \times \uparrow}} + \frac{BM_{\text{C - Klasse}}}{\frac{Stck}{FT \times \uparrow}} = \frac{12 \times 8.000 + 19 \times 4.000}{2 \times \frac{16.800}{97\%}} + \frac{66 \times 2.000}{\frac{16.800}{97\%}} = 5\,\text{d} + 7{,}6\,\text{d} \tag{5.4}$$

mit:
- B Supermarkt-Bestand
- BM Bestellmenge
- Stck Jahresstückzahl
- FT Fabriktage
- ↑ Gutausbeute

Bei den C-Federn ergibt sich mit über 7 Tagen Reichweite auf den Gesamtbedarf bezogen – das entspricht einer Reichweite dieser Varianten für sich alleine betrachtet von 3,5 Monaten - ein sehr hoher Bestand. Dieser lässt sich vermeiden, wenn Exoten-Federn beginnend beim Winden durchgefertigt werden. Dann liegt eine kombiniert gesteuerte Produktion vor (vgl. Abschn. 3.4.2). Um die Lieferzeit einzuhalten, sind die C-Artikel immer mit höchster Priorität zu produzieren.

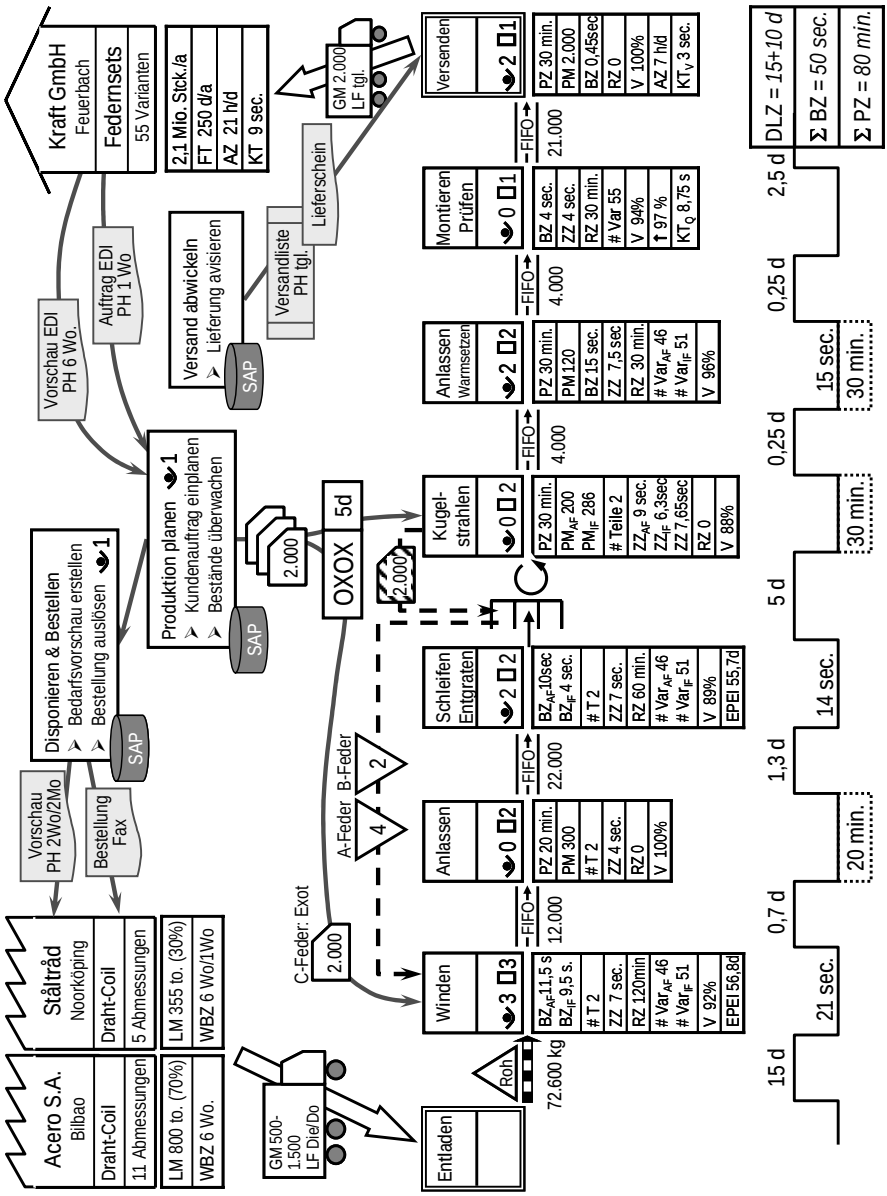


Abb. 5.12. Soll-Konzept für die Kupplungsdämpfungsfedern-Produktion der Federn KG

Fazit Im Gesamtablauf ergibt sich eine Produktionsdurchlaufzeit ohne Rohmaterial gerechnet von 10 Tagen (Abb. 5.12). Damit konnte der WIP gegenüber dem Ist-Zustand von 22 Tagen mehr als halbiert werden. Dabei befindet sich die Hälfte des Bestandes in einem definierten Halbfabrikatelager, während sich in der Produktion überwiegend die in Arbeit befindlichen Lose befinden. Durch die Aufteilung des Wertstroms in zwei Abschnitte wurde der Produktionsablauf nicht nur schneller, sondern auch einheitlicher und transparenter organisiert.

Einer weiteren Verkürzung der Durchlaufzeit und Flexibilisierung des gesamten Wertstroms steht vor allem das Winden entgegen. Die große Rüstzeit erzwingt zu große Lose und die lange Bearbeitungszeit pro Feder führt dazu, dass keine durchgängigen, synchronen Linien aufgebaut werden können. Stattdessen müssen immer drei Fertigungslose beim Winden mit zwei Losen in der übrigen Produktion kombiniert werden.

5.3 Die Glas AG – Kurze Lieferzeiten in der Einzelfertigung

Das Unternehmen

Produkt Zur Glas AG zählt neben den Geschäftsfeldern Glaserzeugung und Autoglas auch das Geschäftsfeld Bauglas. In diesem Geschäftsfeld kann man drei Produktgruppen unterscheiden, das sind das Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG), das Verbund-Sicherheitsglas (VSG) sowie das Isolierglas (ISO) für den Fensterbau. Zu diesem Geschäftsfeld der Glas AG gehören in Deutschland 11 Werke mit teilweise sich überdeckendem Produktportfolio und stark regional geprägter Kundenstruktur. Im hier betrachteten Werk Cottbus werden unter anderem Einzelscheiben mit kundenspezifischen Abmessungen (Dicke, Geometrie, Bohrungen) aus Sicherheitsglas für Anwendungen im Baubereich produziert (Gebäudeaußenverglasung, Türen, Trennwände). Diese ESG-Scheiben unterscheiden sich ferner durch die eingesetzte Glasart (Tönung, Ornament).

Kundenbedarf Die ESG-Produktion im Werk Cottbus ist Vorlieferant für die Verbundglasproduktion im eigenen Werk sowie in sehr geringem Umfang für die Isolierglasproduktion im Werk Dresden. Etwa 55 Prozent der Produktionsmenge werden an etwa 500 Kunden und Baustellen überwiegend in der Region geliefert. Die Jahresstückzahl beträgt 72.000 Scheiben unterschiedlicher Glasarten in kundenspezifischen Abmessungen von 0,1 bis 10 Quadratmeter Scheibengröße. Aus dieser Größenvarianz wird ersichtlich, dass die Stückzahl für die Ermittlung des Kundenbedarfs in einer

Flachglasbearbeitung nur von geringer Aussagekraft ist. Stattdessen ist die Jahresproduktionsmenge in Quadratmetern anzugeben. Im Werk Cottbus beträgt die Jahresleistung 108.000 Quadratmeter, das ergibt eine Durchschnittsgröße pro Scheibe von 1,5 Quadratmetern (Abb. 5.13). Im Einschichtbetrieb ergibt sich daraus ein Kundentakt von 1,07 Minuten pro Quadratmeter.

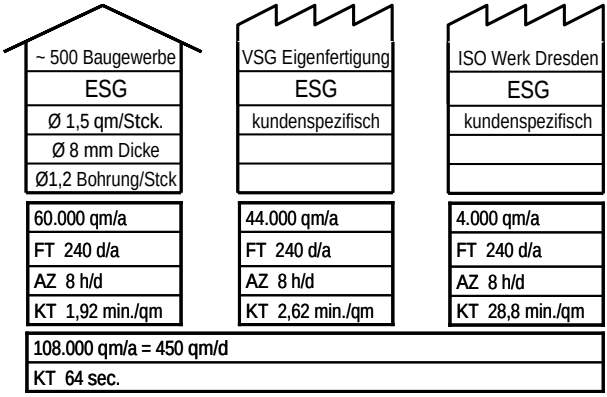


Abb. 5.13. Der Kundenbedarf bei der Glas AG im Werk Cottbus

Wertstromanalyse

Produktionsprozesse Die Glasbearbeitung hat den Charakter einer Werkstattfertigung. Die zugeschnittenen Scheiben werden an alternativen Maschinen in mehreren Schritten bearbeitet und schließlich alle im Ofen vorgespannt. Einige wenige Scheiden erhalten zusätzlich vor dem Ofenprozess einen Siebdruck, was hier allerdings nicht betrachtet werden soll. Der Prozessablauf sieht im Einzelnen wie folgt aus (Abb. 5.14):

- **Kommissionieren & Verpacken** Die aus der Produktion auf Rollwagen bereitgestellten ESG-Scheiben werden kommissionsgerecht auf Transportgestelle umgeladen. Dabei ist die Reihenfolge der nach Tourenplan angefahrenen Kunden zu berücksichtigen. Die Scheiben werden mit Abstandshaltern getrennt, teilweise eingeschrumpft oder mit Kartonagen geschützt. Da die Scheiben für die VSG-Produktion nicht zu versenden sind, sind lediglich 59 Prozent der Gesamtproduktion zu verpacken. Daraus ergibt sich ein prozessspezifischer Kundentakt von 108 Sekunden.
- **Vorspannen** Durch die Erhitzung und anschließende Abkühlung mit Gebläse werden die Glasscheiben zu Sicherheitsglas. Die auf einem Rollwagen bereitgestellten Scheiben werden von zwei Mitarbeitern auf einer Rollenbahn angeordnet und mit dem Sicherheitsstempel versehen. Der Ofen zieht die Scheiben automatisch ein und schiebt sie nach dem

Prozess von glasdickenabhängiger Dauer auf der anderen Seite wieder heraus. Die gleichen Mitarbeiter stapeln die Scheiben nach Sichtkontrolle wieder ab.

- **Waschen** Die mit feuchtem Glasstaub verunreinigten Scheiben werden von den vorgelagerten Bearbeitungsmaschinen auf Rollenbahnen der Durchlauf-Waschmaschine zugeführt. Die sauberen und trockenen Scheiben werden abgestapelt und vor dem Ofen bereitgestellt. Die Waschmaschine muss auf die Glasdicke eingestellt werden.
- **Bohren / Fräsen** Löcher und Aussparungen in den Scheiben werden nach Zeichnung gefertigt. Es stehen eine manuelle Bohrmaschine mit Anreißplatz und eine NC-gesteuerte Fräs-Bohr-Maschine, die der Mitarbeiter selbst programmiert, zur Verfügung. Die Scheiben weisen bis zu 16 gesenkte Bohrungen auf. Durch die unterschiedliche Anzahl an Bohrungen sowie zusätzlich durch die zu fräsenden Aussparungen schwanken die Bearbeitungszeiten extrem. Rüstzeiten fallen bei Bohrerwechseln an. Eine genauere Datenauswertung ergibt 1,2 Bohrungen pro gelieferter Scheibe, das sind 0,8 Bohrungen pro Quadratmeter. Die Zykluszeit ergibt sich aus der Multiplikation mit der Bearbeitungszeit pro Bohrung, wobei hier die Fräszeiten nicht berücksichtigt worden sind.
- **Schleifen** Die Kantenbearbeitung erfolgt bei mittelgroßen, rechteckigen Scheiben auf einer zweiseitigen Durchlaufschleifmaschine. Zur Komplettbearbeitung werden die Scheiben einmal zurückgeführt, wobei geringe Rüstzeiten bei der Breitenverstellung anfallen. Größere und unregelmäßige Scheiben werden senkrecht auf einer einseitigen Schleifmaschine bearbeitet. Die einseitige Bearbeitung ist zwar deutlich langsamer, da hier aber größere Scheiben bearbeitet werden ergibt sich nur eine geringfügig höhere Bearbeitungszeit pro Quadratmeter. Da zwei einseitige Bearbeitungsmaschinen vorhanden sind, liegt die Zykluszeit hier sogar niedriger.
- **Zuschneiden** Das Rohglas in Bandmaßen zu 19,26 Quadratmetern wird auf einem Zuschnittisch automatisch angeschnitten und dann von zwei Mitarbeitern gebrochen und abgestapelt. Die Beschickung mit Bandmaßen übernimmt ein Lagerarbeiter. Für die Maschinensteuerung ist der Meister zuständig, der jedoch, wie die anderen Führungskräfte auch, nicht in die Wertstromdarstellung aufgenommen wird. Die Verschnittoptimierung liefert eine Glasausbeute von 80 Prozent. Pro Bandmaß werden 7,5 Minuten benötigt, das sind gut 23 Sekunden pro Quadratmeter. Berücksichtigt man den Verschnitt, ergibt sich eine Zykluszeit von 29 Sekunden. Für einen minimalen Anteil von Ornamentgläsern oder Reststücken kann ein manueller Zuschnittisch eingesetzt werden. Die

zugeschnittenen Scheiben werden mit einem Klebeetikett versehen, das alle Kundenauftragsdaten enthält.

Die jeweils angegebenen Mitarbeiter betreffen die pro Arbeitsplatz erforderliche Anzahl, um die jeweilige Maschine zu betreiben. In der Produktion gibt es jedoch mehr Arbeitplätze als Mitarbeiter, die je nach den täglich schwankenden Anforderungen des Produktspektrums an unterschiedlichen Arbeitsplätzen eingesetzt werden.

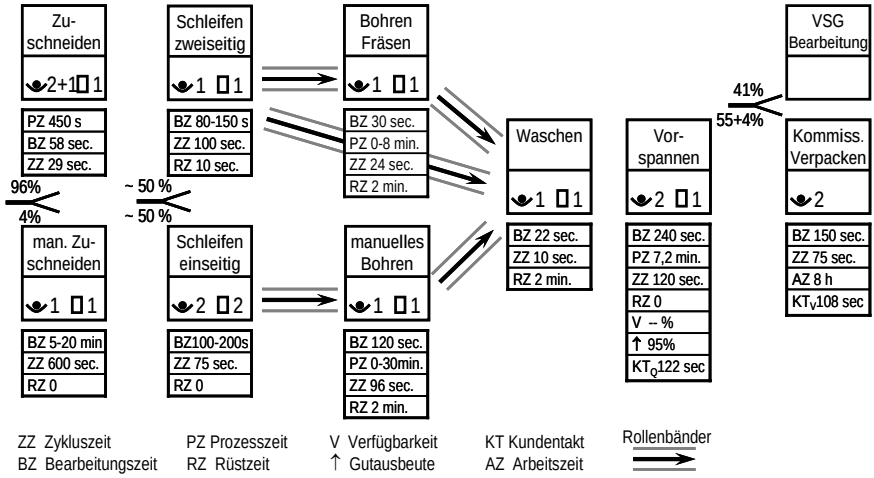


Abb. 5.14. Die Produktionsprozesse bei der Glas AG

Die Berechnung der *Zykluszeit* beim Vorspannen ist etwas komplizierter. Die Prozesszeit beträgt 54 Sekunden pro Millimeter Dicke des jeweils gefahrenen Glases. Eine genauere Analyse der Daten des vergangenen Geschäftsjahres ergibt eine nach Flächenanteilen gewichtete Durchschnittsdicke von 8 Millimetern, wobei die Glasstärken von 4 bis 16 Millimetern reichen. Daraus errechnet sich eine mittlere Prozesszeit von 7,2 Minuten. Für einen Zug stehen acht Quadratmeter Ofenfläche zur Verfügung. Die Ofenbelegung erreicht eine durchschnittliche Ausnutzung von 45 Prozent, also 3,6 Quadratmetern pro Zug. In 7,2 Minuten Prozesszeit werden demnach 3,6 Quadratmeter bearbeitet, woraus sich eine Zykluszeit von zwei Minuten ergibt. Dies entspricht bei zwei ständigen Mitarbeitern am Prozess einer Bearbeitungszeit von 240 Sekunden pro Quadratmeter. Bei der Sichtkontrolle werden Kratzer entdeckt. Ferner geht zuweilen im Prozess Glas zu Bruch, so dass die Ausbeute lediglich 95 Prozent beträgt. Das reduziert den Kundentakt für alle vorgelagerten Prozesse auf 61 Sekunden (vgl. Gl. 2.7). Da der Vorspannofen zweischichtig in Betrieb ist, liegt hier der Kundentakt bei 122 Sekunden. Über die Verfügbarkeit liegen keine statistischen Auswertungen vor.

Materialfluss Das Zählen des Bestandes erscheint zunächst undurchführbar, da ja die Glasfläche von auf Transportgestellen gestapelten Scheiben in unterschiedlichen Größen und Formen zu ermitteln ist. Auf den Etiketten kann jedoch die jeweilige Fläche abgelesen werden, so dass zahlreiche Additionen zur Bestandsermittlung ausreichen. An verpackter Ware auf den Tourenplätzen für die nächsten Tage wird ein Bestand von 790 Quadratmetern gezählt. Darin sind auch die Mengen für das ISO-Werk enthalten. Hinzu kommen noch 425 Quadratmeter, die für die VSG-Fertigung bereitgestellt sind. Daraus ergibt sich eine Reichweite des Fertigwarenbestands von 2,7 Tagen. Vor dem Ofen werden 377 Quadratmeter, dahinter 135 Quadratmeter gezählt, das entspricht in Summe gut einem Tag Reichweite. In der Bearbeitung und hinter dem Zuschnitt stehen an unterschiedlichen Stellen Rollwägen mit weiteren 811 Quadratmetern, also bei Berücksichtigung von 5 Prozent Ausschuss 1,5 Tagen Reichweite.

Werksexterne Logistik Im Glaslager werden 770 Bandmaße gezählt, das sind 14.830 Quadratmeter oder bei Berücksichtigung von 80 Prozent Verschnitt und 5 Prozent Ausschuss 25 Tage Reichweite. Rohglas kann täglich von der konzerneigenen Float-Anlage aus Köln angeliefert werden, allerdings fallen für Einzelblätter Preiszuschläge von 10 Prozent an, während bei Abnahme mehrerer Pakete zu je fünf Tonnen rabattiert wird. Eine ABC-Analyse ergibt, dass 75 Prozent der Glasfläche von neun Varianten in zwei Glasarten und sechs Glasdicken bestritten werden. 15 Prozent sind einige wenige Sondergläser für große Bauprojekte. Weitere Glasdicken der Standardgläser sowie farbige und beschichtete Glasarten in etwa 40 Varianten machen weitere 8 Prozent aus; 2 Prozent sind geprägte Gussgläser in halben Bandmaßen, wobei derzeit 78 Varianten in geringen Mengen auf Lager sind.

Der Versand erfolgt mit werkseigenen Lkws auf täglich anderen, festen Touren. Das Versandbüro erstellt die Lieferscheine sowie Versandlisten, in denen die Aufträge nach Touren, Fahrern und Kundenadressen sortiert sind. Die Versandliste gibt den Kommissionierern die Stellreihenfolge der Scheiben auf den Versandgestellen vor. Da viele Kunden nur einzelne Scheiben bestellen, kann nicht für jeden ein eigenes Gestell verwendet werden; die Scheiben werden dann einzeln entladen. Dem Fahrer ist durch die Versandliste vorgegeben, in welcher Reihenfolge er die Kunden anfährt.

Geschäftsprozesse Die Kundenbestellungen nimmt der Vertriebsinnendienst entgegen und erstellt Auftragsmappen mit den Kundenanforderungen. In der Auftragsabwicklung werden die Aufträge in der branchenspezifischen Unternehmenssoftware GLAP erfasst. Nach der technischen Klärung wird die Verfügbarkeit von speziellen Glassorten überprüft, der

Auftrag mit Termin bestätigt und schließlich die Zeichnung vom Kunden freigegeben. Nun ist der Auftrag eingelastet und kann von der Arbeitsvorbereitung eingeplant werden. Die Software erlaubt eine Kapazitätsplanung auf Maschinenebene, so dass auch alle Bearbeitungsschritte den jeweiligen Maschinen zugeordnet werden. Die Aufträge werden mit Übergangszeiten von jeweils einem Tag für die Prozessschritte Zuschneiden, Bearbeiten, Vorspannen, Kommissionieren eingeplant. Das Planungsergebnis ergibt eine Abarbeitungsliste für jede Maschine mit den jeweils täglich zu bearbeitenden Kundenaufträgen.

Neben den Abarbeitungslisten erhält die Produktion Betriebsaufträge und Klebeetiketten mit den Kundendaten. Letztere werden zur Identifikation auf die einzelnen Scheiben geklebt. Der Zuschnitt erhält aus dem G/Opt-Programm den sogenannten Job, das ist der verschnittoptimierte Zuschnittplan für einen Tagesbedarf. Die Mitarbeiter am Vorspannofen melden die Aufträge fertig und lösen so die Versandplanung aus. Für die bei der Qualitätsprüfung aussortierten Scheiben erstellen die Mitarbeiter sogleich auf einem Formular einen Nachschnittauftrag, den der Meister routinemäßig zum Zuschnitt bringt. Dort werden diese Nachschnitte entweder manuell in die automatisch erstellten Zuschnittpläne eingefügt oder aus Restscheiben nachgeschnitten. Die Nachschnitte werden auf gelben Transportwägen nachgeliefert und sind in der Bearbeitung so als ‚eilig' kenntlich gemacht.

Verbesserungspotentiale

Durchlaufzeit Die Produktionsplanung mit Übergangszeiten führt zu langen Produktionsdurchlaufzeiten und zu langen Lieferzeiten. Außerdem befindet sich dadurch relativ viel Material in der Produktion, was zu erheblichen Suchaufwänden nach einzelnen Aufträgen führen kann. Die Abarbeitungslisten geben das Tagesprogramm, aber nicht die Bearbeitungsreihenfolge vor. Da die Mitarbeiter am Ofen nach Scheibendicke, bei der Bearbeitung nach Scheibenform jeweils umsortieren, verbleiben zahlreiche Aufträge länger in der Produktion als ursprünglich geplant, während andere vorgezogen werden. Insgesamt ist in der Wertstromanalyse eine Durchlaufzeit von 5,5 Tagen zuzüglich eines sehr hohen Rohmaterialbestandes von 25 Tagen ermittelt worden – bei einer summierten Bearbeitungszeit von nur 11 Minuten (Abb. 5.15). Das erklärte Ziel, eine Lieferzeit von einem Tag ab Werk auch für kundenspezifische Scheiben aus Standardgläsern zu realisieren, erscheint trotz derzeitig gegenteiliger Gepflogenheiten durchaus realistisch.

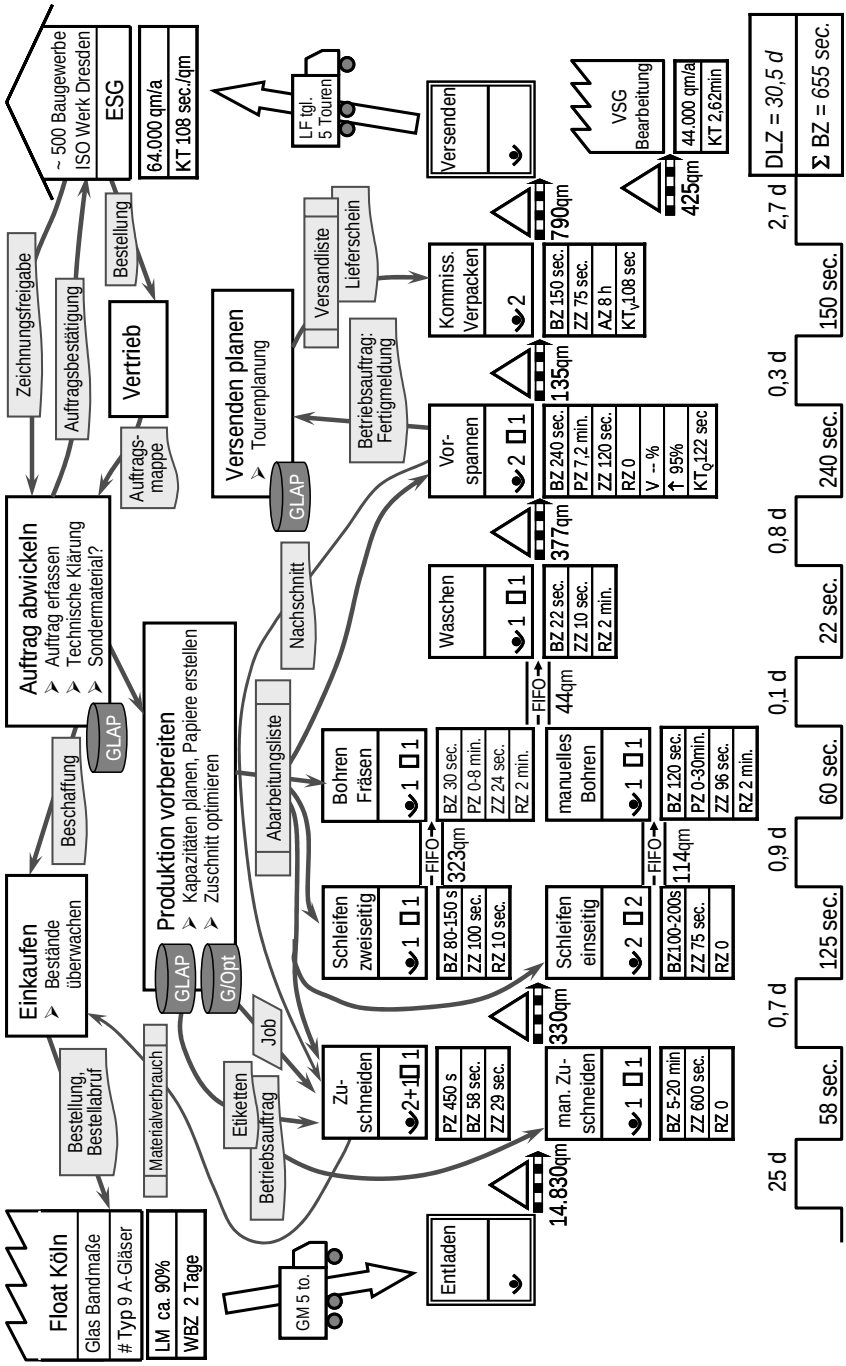


Abb. 5.15. Ergebnis der Wertstromanalyse bei der Glas AG

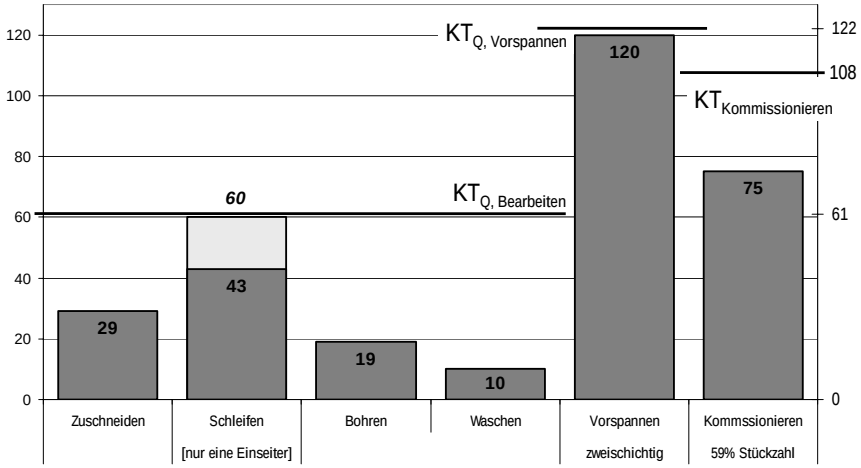


Abb. 5.16. Das Taktabstimmungsdiagramm bei der Glas AG

Taktabstimmung Das Taktabstimmungsdiagramm weist den Ofen trotz Zweischichtbetrieb sehr deutlich als Engpass aus (Abb. 5.16). Das Bohren hat deutliche Kapazitätsreserven – die auch für das bei einigen Scheiben sehr zeitaufwendige Fräsen benötigt werden. Das Schleifen weist eine für die kundenspezifische Produktion mit den stark schwankenden Bearbeitungszeiten im Auftragsmix die erforderliche Kapazitätsflexibilität auf. Würde man eine der beiden einseitigen Schleifmaschinen stillegen, dann würde man ziemlich genau den Kundentakt erreichen (grauer Balken), müsste sich im Auftragsmix aber am Kapazitätsbedarf beim Schleifen orientieren. Das Zuschneiden ist mit 29 Sekunden Zykluszeit mehr als doppelt so schnell wie der Kundentakt. Die Freigabe des Auftragsvolumens für einen Tag oder mehr führt regelmäßig zu hohen Beständen vor der Bearbeitung – einhergehend mit Platzmangel und zu wenigen oder überladenen, nur mit zwei Mann zu rollenden Transportgestellen, also gewissermaßen zu einer Verstopfung der Fabrik.

Wertstromdesign

Zielsetzung Bei der Neugestaltung der Produktion steht die radikale Verkürzung der Produktionsdurchlaufzeit um gut 80 Prozent auf einen Tag im Vordergrund. Ziel ist es, dadurch für einen Teil der Kundenaufträge eine *Lieferzeit von nur einem Tag* zu erreichen.

Produktionsprozesse Die einzelnen Prozessschritte stellen unterschiedliche Anforderungen an die jeweils für sie optimale Auftragsreihenfolge.

- Im Ofen dürfen nur Scheiben gleicher Glasdicke in einem Zug gemeinsam vorgespannt werden. Außerdem empfiehlt es sich, nicht in jedem Zug die Glasdicke zu wechseln. Da jeweils andere Temperaturen benötigt werden, bedeutet ein Dickenwechsel Wartezeiten, insbesondere bei großen Sprüngen und beim Wechsel auf dünnere Scheiben.
- Beim Bohren sollten sich die zeitaufwendigen Fräsbearbeitungen gleichmäßig über den Tag verteilen.
- Bei der Kantenbearbeitung sollten Scheiben gleicher Geometrie gemeinsam gewissermaßen als Los geschliffen werden, da dann die Breitenverstellung entfällt.
- Beim Zuschneiden müssen alle Aufträge mit Scheiben der gleichen Glasart gemeinsam bearbeitet werden. Kundenaufträge mit mehreren Glasarten müssen demnach auseinandergerissen werden.

Diese unterschiedlichen Anforderungen an Auftragsmix und Auftragsreihenfolge sprechen gegen eine Integration der Produktionsprozesse im Sinne einer Fließfertigung (vgl. Gestaltungsrichtlinie 2), da eine durchgängige Taktabstimmung nicht erreichbar erscheint.

Materialfluss Um einen gleichmäßigen Produktionsfluss zu erreichen, ist jedoch eine fixierte Auftragsreihenfolge erforderlich, die nicht an jedem Produktionsprozess geändert wird. Dazu sind zunächst die drei Prozessschritte Zuschneiden, Bearbeiten und Vorspannen weitgehend zu synchronisieren. Die Produktion wird deshalb orientiert am Ofen auf Zweischichtbetrieb umgestellt. In der Bearbeitung sind dann pro Schicht weniger Mitarbeiter anwesend, die je nach Bedarf jede Maschine bedienen können. Der Zuschnitt muss jedoch deutlich auf etwa ein Viertel gebremst werden. Zum einen kann ein Mitarbeiter vom Zuschnitt zusätzlich Bandmaße aus dem Lager zuführen, während der andere Mitarbeiter auch die auf der Verschnittoptimierung basierende Maschinensteuerung übernimmt. Zum anderen ist auch der VSG-Bereich des Werks direkt mit Basisglas zu versorgen. Dies wurde bisher immer am Ende der Schicht gemacht, während künftig beide Bereiche abwechselnd von den gleichen Mitarbeitern versorgt werden.

Die grob synchronisierten Produktionsprozesse werden über FIFO verkoppelt (Gestaltungsrichtlinie 3). Dazu werden innerhalb der Bearbeitung die vorhandenen Rollenbahnen verwendet und teilweise zur Verbesserung des Materialflusses auch umgebaut. Zwischen den drei Prozessschritten werden Transportwägen verwendet, die so klein sein sollen, dass sie von einem Mitarbeiter bewegt werden können.

Die Analyse der Rohglasbestände hat gezeigt, dass ein großer Materialbedarf von neun Varianten gedeckt wird. Für diese Gläser eignet sich die Einführung eines Lieferanten-Kanban (Gestaltungsrichtlinie 4).

Produktionssteuerung Da es sich um eine kundenspezifische Produktion handelt, befindet sich der Einsteuerungspunkt zwangsläufig am ersten Prozess, dem Zuschneiden (Gestaltungsrichtlinie 5). Als Freigabeeinheit und damit als Pitchintervall bietet sich das Bandmaß an (Gestaltungsrichtlinie 6). Beim Zuschneiden weist es auftragsunabhängig immer in etwa den gleichen Arbeitsinhalt auf, beim Vorspannen hängt er allerdings linear von der jeweiligen Glasdicke ab. Ein Puffer von etwa drei Stunden vor dem Ofen dient dazu, Schwankungen in der Ausbringung der Bearbeitung ausgleichen, da diese in der Bestimmung des Pitch nicht berücksichtigt ist.

Für die Festlegung der Auftragsreihenfolge im gleichmäßigen Variantenmix ist in der kundenspezifischen Produktion das Rohmaterial ausschlaggebend (Gestaltungsrichtlinie 7). Demnach müsste man Bandmaße gleicher Glasart möglichst gleichmäßig verteilen. Aufgrund der zahlreichen prozessspezifischen Restriktionen flussabwärts wäre diese jedoch hier nicht sinnvoll. Da der Ofen der kapazitative Engpass ist, haben die dortigen Restriktionen die höchste Priorität für die Festlegung der Auftragsreihenfolge (vgl. Gestaltungsrichtlinie 9). Demnach sollten die Scheiben in der Reihenfolge ihrer Dicken produziert werden, und zwar idealerweise täglich ein Zyklus von 4 Millimetern Dicke ansteigend bis zu 19 Millimetern. In diesem Fall entfallen sämtliche Leerzüge. Kundenaufträge mit unterschiedlichen Glasdicken werden beim Kommissionieren wieder zusammengeführt.

Die beschriebene Reihenfolgeregelung muss nun noch auf die Erfordernisse der belieferten Kundengruppen abgestimmt werden. Zu unterscheiden sind folgende fünf Geschäftstypen:

- Das ‚1-Tag-ESG' sind in kleinen Stückzahlen kurzfristig zu liefernde Scheiben an die Handwerker und Baustellen in der Region.
- Das ‚Touren-ESG' sind Normalbestellungen von Kunden, die in der Regel einmal wöchentlich beliefert werden. Die Lieferzeit ist dann vom Tourenplan abhängig und liegt zwischen vier und acht Werktagen.
- Das ‚Projekt-ESG' betrifft Bestellungen für Großbaustellen mit entsprechend langer Lieferzeit sowie zahlreichen, tagesgenauen Lieferungen pro Auftrag.
- Das ‚ISO-ESG' ist täglich nach Dresden zu liefern, wobei derzeit eine Lieferzeit von drei Tagen vereinbart ist.
- Das ‚VSG-ESG' wird für die eigene Weiterverarbeitung derzeit mit einer Übergangszeit von zwei Tagen zum VSG-Bereich eingeplant.

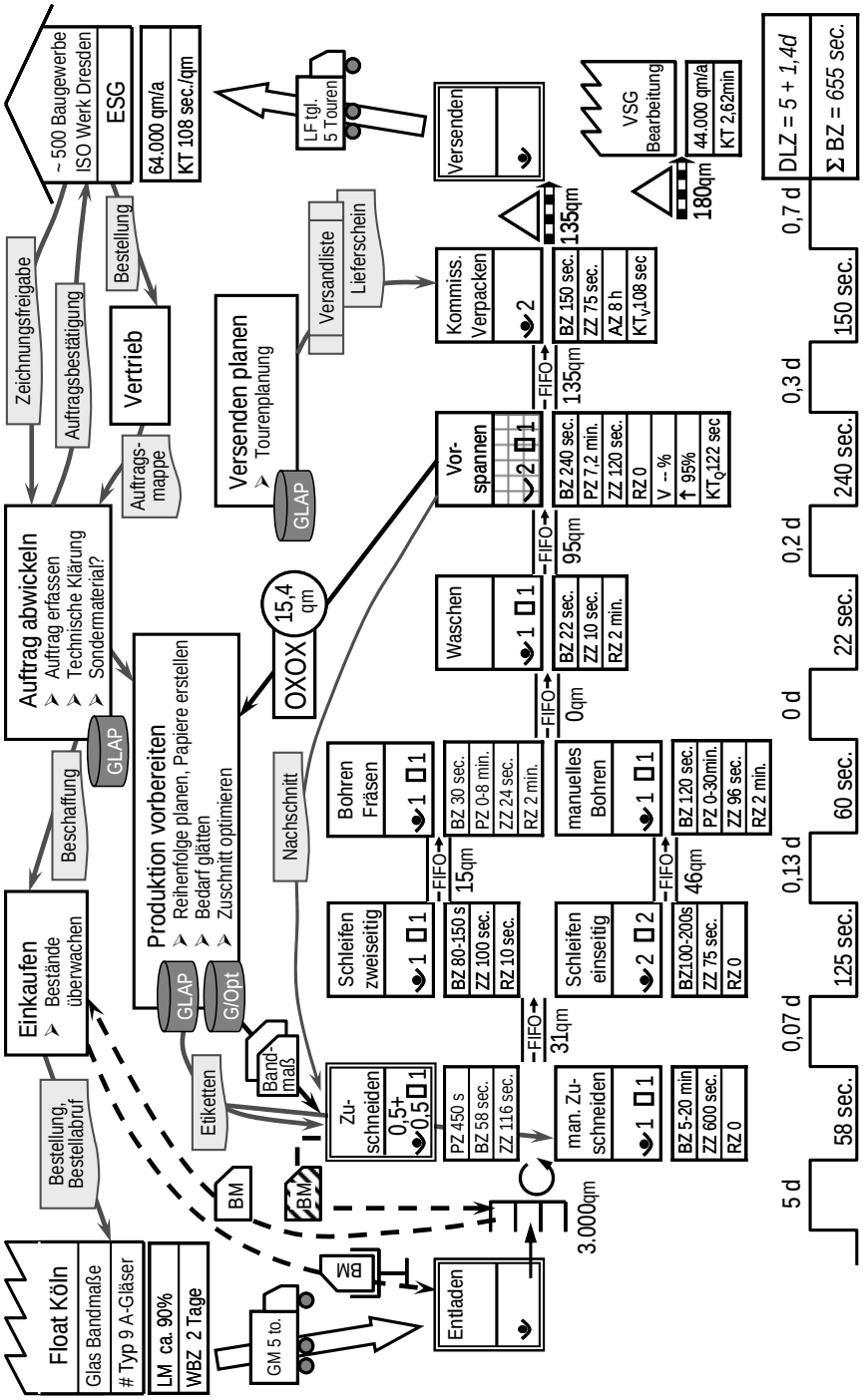


Abb. 5.17. Soll-Konzept für die ESG-Produktion bei der Glas AG

Für alle Geschäftstypen gilt eine Produktionsdurchlaufzeit von einem Tag. Das bedeutet intern eine deutliche Beschleunigung auch der VSG-Aufträge. Für das ‚1-Tag-ESG' stellt sich nun als zusätzliche Anforderung, dass innerhalb eines Tages nicht nur die Produktion, sondern auch die Auftragsbearbeitung sowie die Verpackung und der Eiltransport zum Kunden erfolgen sollen. Die Bestellung des ‚1-Tag-ESG' wird bis spätestens 9:00 Uhr zugelassen. Für Auftragsabwicklung und Arbeitsvorbereitung mit Zuschnittoptimierung bleibt dann bis 10:00 Uhr Zeit. Bei der Optimierung werden die Bandmaße mit Scheiben aus den anderen Auftragsarten gefüllt. Der Zuschnitt der Scheiben für das ‚1-Tag-ESG' beginnt dann um 10:00 Uhr, wobei aufgrund des nunmehr verlangsamten Zuschnitts etwa alle 15 Minuten ein Bandmaß, also ein Pitch, bearbeitet werden kann. Der weitere Produktionsdurchlauf hängt von den erforderlichen Bearbeitungszeiten ab. Außerdem ist der Puffer vor dem Ofen zu berücksichtigen. Zwischen 14:00 Uhr und 15:00 Uhr dürften die ersten ‚schnellen' Scheiben aus dem Ofen kommen. Für den Durchlauf aller Scheiben sowie der Kommissionierung und Verpackung bleibt dann bis zum Ende der zweiten Schicht um 22:00 Uhr Zeit. Ab Folgetag kann dann ab 6:00 Uhr verladen und ausgeliefert werden.

Durch das ‚1-Tag-ESG' sind nun mindestens zwei Zyklen täglich erforderlich; der erste Zyklus für die Bandmaße mit ‚schnellen' Scheiben, der zweite Zyklus für die anderen Geschäftstypen. Die Kundennachfrage für das ‚1-Tag-ESG' wird voraussichtlich stark schwanken. Die anderen Geschäftstypen bieten hier jedoch die Möglichkeit zur Bedarfsglättung, indem beispielsweise Projektgläser vorgezogen, die Übergangszeit zum VSG durch Verspätung ausgeschöpft oder das ISO-Glas je nach Bedarf im Dreitageszeitraum verschoben wird. Dazu ist dann weiterhin der der Planungssoftware GLAP sinnvoll. Nicht planbar und nur bedingt steuerbar bleibt der Nachschnitt. Beim ‚1-Tag-ESG' kann der zweite Zyklus genutzt werden. Nachläufer in dickem Glas kommen dann allerdings erst kurz vor Schichtende, so dass zum Verpacken gegebenenfalls Überstunden erforderlich sind.

Fazit Mit der Wertstromanalyse konnten gerade bei den sehr komplexen Zusammenhängen in einer kundenspezifischen Produktion die wesentlichen Einstellgrößen und Restriktionen für die Auftragseinlastung und Produktionssteuerung deutlich aufgezeigt werden. Im Werk Cottbus konnte der Vorspannofen als Engpass ausgewiesen werden, der sich bei einer Auftragseinlastung in der richtigen Reihenfolge stärker auslasten lässt. Durch die Veränderung der Produktionssteuerung konnte die Produktionsdurchlaufzeit von 5,5 Tagen um 75 Prozent auf 1,4 Tage gesenkt werden (Abb. 5.17). Klammert man die bereitgestellte Fertigware aus, wurde die Durchlaufzeit auf knapp einen Tag halbiert, so dass bei Zweischichtbetrieb künftig eine Lieferzeit von einem Tag realisierbar ist. Für die hauseigenen VSG-Scheiben bedeutet die erreichte Beschleunigung ebenfalls eine Verkürzung der Lieferzeit um knapp eine Woche.

6 Literaturhinweise

Bicheno John (2000) The Lean Toolbox. Picsie Books, Buckingham (ed 2)

Duggan Kevin J (2002) Creating Mixed Model Value Streams. Practical Lean Technique for Building to Demand. Productivity Press, New York

Erlach Klaus (2000) Das Technotop. Die technologische Konstruktion der Wirklichkeit. LIT-Verlag, Münster

Felix Herbert (1998) Unternehmens- und Fabrikplanung. Hanser, München Wien

Goldratt Eliyahu M, Cox Jeff (1995) Das Ziel. Höchstleistung in der Fertigung. McGraw-Hill Book, Cambridge

Gutenberg E. (1951) Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Band 1: Die Produktion. Springer, Berlin Heidelberg New York

Lödding Hermann (2005) Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. Springer, Berlin Heidelberg New York

Oeltjenbruns Henning (2000) Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas. Analyse, Vorteile und detaillierte Voraussetzungen sowie die Vorgehensweise zur Einführung am Beispiel eines globalen Automobilkonzerns. Shaker, Aachen

Ohno Taiichi (1993) Das Toyota Produktionssystem. Campus, Frankfurt New York

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (1991) Methodenlehre der Betriebsorganisation: Arbeitsgestaltung in der Produktion. Hanser, München Wien

Ropohl, Günter (1999) Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. Hanser, München, Wien (Aufl 2)

Rother Mike, Harris Rick (2001) Creating Continuous Flow. An Action Guide for Manggers, Engineers and Production Associates. The Lean Enterprise Institute, Brookline

Rother Mike, Shook John (2000) Sehen lernen. Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen. LogX, Stuttgart

Schmigalla, Hans (1995) Fabrikplanung. Begriffe und Zusammenhänge. Hanser, München Wien

Suzaki, Kiyoshi (1989) Modernes Management im Produktionsbetrieb. Strategien, Techniken, Fallbeispiele. Hanser, München Wien

Takeda, Hitoshi (2002) Das synchrone Produktionssystem. Just-in-time für das ganze Unternehmen. mi-Verlag, München (Aufl 3)

Wiegand Bodo, Franck Philip (2004) Lean Administration I. Lean Management Institut, Aachen

Wiendahl, Hans-Hermann (2006) Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld. Teil 1 – Anforderungen. wt Werkstattstechnik online 96: 183–189

Wiendahl, Hans-Hermann (2002) Situative Konfiguration des Auftragsmanagements im turbulenten Umfeld. Jost-Jetter-Verlag, Heimsheim

Wiendahl, Hans-Peter (1997) Betriebsorganisation für Ingenieure. Hanser, München Wien (Aufl 4)